昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 10 年 6 月 10 日発行（毎月 1 回 10 日発行）富士時報　第 71 巻　第 6 号（通巻第 759 号）
ISSN 0367-3332

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

6

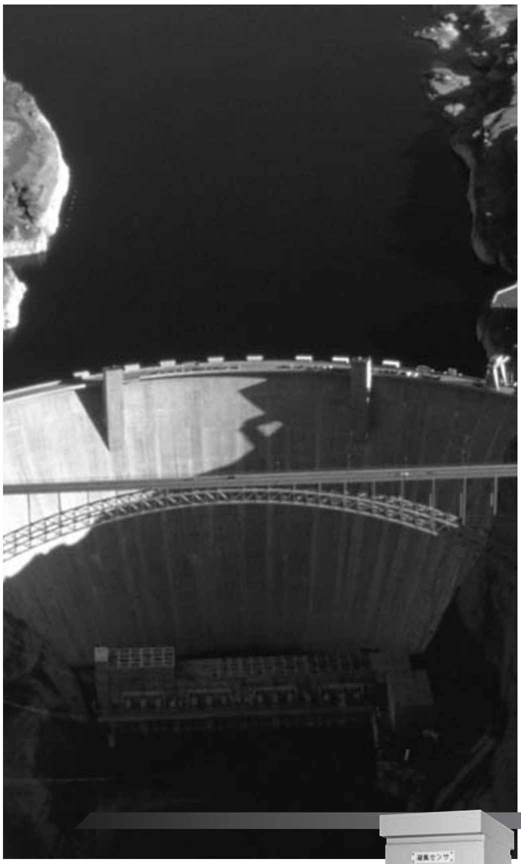
1998 VOL. 71

地球環境を守る水処理技術特集

FUJI ELECTRIC

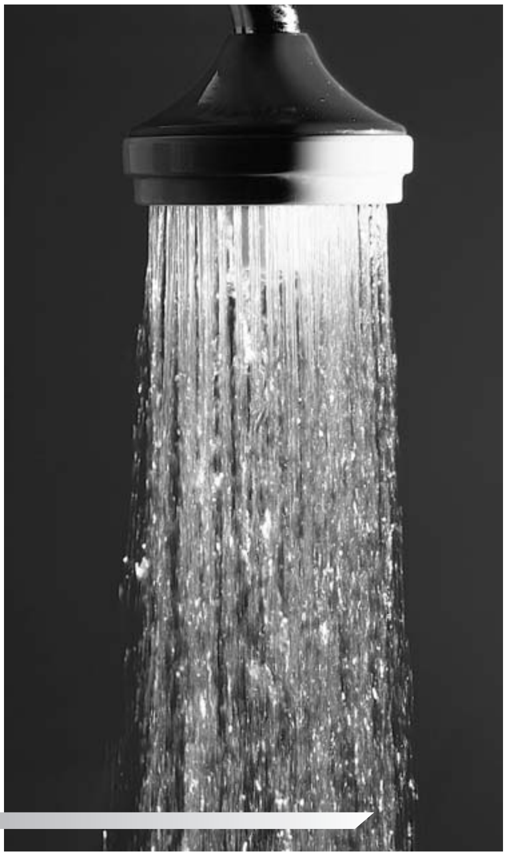
聞こえてきますか、技術の鼓動。—— 富士電機

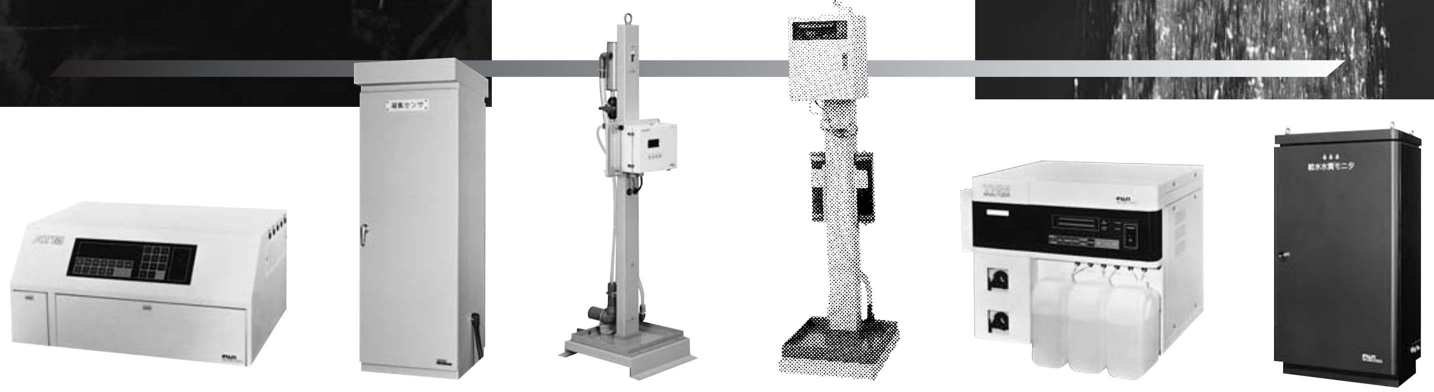
FUJI ELECTRIC



水質新時代

水源から給水端末まで
富士電機の水質センサ・制御技術が活躍。

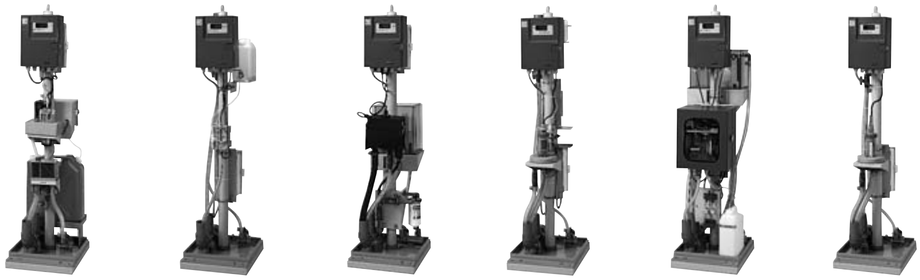




水質安全モニタ　凝集センサ　高感度濁度計　溶存オゾン計　トリハロメタン計　給水水質モニタ

富士電機は,安全でおいしい水の安全供給をめざし,
水源から給水端末まで一貫して水質に目を光らせています。
さらに,凝集センサによる最適な凝集剤注入や,
季節・時刻・日射量などの諸要因を配慮した
ファジィ制御による塩素注入水質制御を実行します。

FAINS



有試薬残留塩素計　無試薬遊離塩素計　濁度計　pH計　アルカリ度計　電導度計

富士電機の水質計と制御技術

お問合せ先：システム事業本部 公共システム事業部　電話（042）585-6130

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

6

1998 VOL. 71

地球環境を守る水処理技術特集

目　次

水道の新技術開発，第３の浄水技術を目指して 310（2）
茂庭　竹生

地球環境を守る水処理技術の動向と展望 311（3）
伊藤　晴夫　・　風 間　清　・　土屋　泰則

水処理施設における新エネルギー技術 316（8）
中原　泰男　・　山本総一郎　・　徳弘　勝由

水処理施設における省エネルギー技術 324（16）
竹原　廣人　・　麻田　雅宣　・　佐藤　匡則

危機管理に向けた上下水道の防災技術 330（22）
蓮本　了遠　・　宮本　章広　・　末 田　誠

クリプトスポリジウム対策としてのオゾン消毒技術 336（28）
田中　義郎　・　高橋　和孝　・　本山　信行

トリハロメタンの検出と低減化技術 342（34）
多 田　弘　・　大戸時喜雄

突発性水質事故とセンサ技術 347（39）
福田　政克　・　田中　良春

下水道プロセスにおける計測制御技術 352（44）
高見澤真司　・　夜 明　徹　・　青 木　隆

オープン化・情報融合をめざす上下水道用新監視制御システム 358（50）
赤松　和彦　・　八代　一伸　・　吉 田　昭

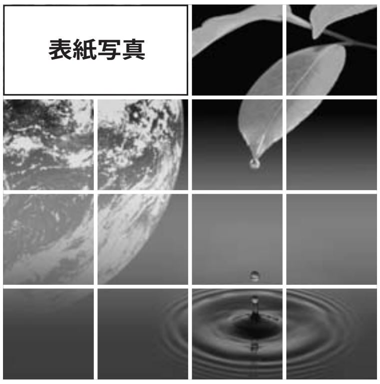
効率経営をめざした水道統合情報処理システム 364（56）
佐 川　学　・　髙城　正文　・　伊 藤　修

水処理システムを支えるエンジニアリング技術 370（62）
山口　裕介　・　小峰　正勝　・　佐 藤　守

技術論文社外公表一覧 323（15），357（49）

最近登録になった富士出願 329（21），363（55），375（67）

表紙写真



生命を育（はぐく）み人類を誕生させた美しき地球が，今，人類による多量の資源やエネルギーの消費により病に苦しんでいる。

今こそ，人類は英知を結集し，美しき地球環境の復活をめざすことが急務となっている。

富士電機は総合電機メーカーとして水処理分野の豊かな経験と技術により，地球環境を守るさまざまな上下水道向けシステム製品を提供している。

表紙写真は，人類にとってかけがえのない母なる地球と生命の源である水とを組み合わせて，水処理分野におけるソリューション技術をイメージ的に表現したものである。

水道の新技術開発，第３の浄水技術を目指して

茂庭　竹生（もにわ　たけお）
東海大学工学部教授　工学博士

水道の技術は今新たな幕開けの刻を迎えている。明治20年，横浜に近代水道第１号が完成してから，早くも110年の月日が経つ。この間に水道の普及率は95%を超え，正に成熟した産業となった。しかし，終戦直後は普及率が35%程度であったことから，急速に整備が進んだのは水道法が制定されてから後の，昭和30，40年代のことである。このため，多くの施設は建設後30～40年を経て老朽化が目立ち，そろそろ更新の時期にさしかかっている。そして，現在の水質条件に有効に対応しながら，安全でおいしい水の供給を担保できる施設が何であるかを一斉に模索し始めている。

最初の浄水技術である緩速沪過法が開発されたのは，1829年ロンドンである。後の研究でこの浄水方法が細菌除去にも効果があることが分かり，各所で採用されるようになった。この技術が米国に渡り，今世紀の初めに現在の急速沪過法へと発展した。この技術は緩速沪過法と較べると，極めて効率的な浄水方法であることから，その後急速に広まっていくが，当然のことながら，フロックに捕捉されない物質は除去できない欠点があり，水質的には不満が残る。特に，ダム等の貯水池を水源とする水道が増えてくると，原水中に生物難分解性の有機物質が増えたり，藻類の代謝物に由来する異臭味物質の濃度が高まったりする被害が発生し易い。また建設当時には問題にならなかった物質，すなわち変異原性や発癌性が指摘される農薬や有機化学物質，あるいは消毒副生成物の問題もある。さらに，最近ではホルモン攪乱物質などの問題も指摘されている。このような環境の中で，更新される水道施設はどのようなものであるべきなのか，今後の50年，100年を見据えたうえで，採用すべき浄水システムを決めていくことが要求されている。

平成３年度から始まったMAC21は，高度処理MAC21へと発展し，６年間をかけて膜沪過技術を信頼のある固液分離技術へと定着させた。産官学が一体となった初めてのプロジェクトが大変うまく機能した結果である。この方法はコストの関係から小規模水道向きの施設であり，無人運転が可能なことから，現在100か所を超す施設が計画または建設中であり，一部は既に稼働し始めている。このように膜沪過は信頼できる浄水技術として評価を受けているが，あくまでも固液分離技術であるので，変異原性や発癌性が指摘される農薬や化学物質の除去には無力であるし，消毒副生成物の前駆物質となる低分子量のフミン質の除去も殆ど期待できない。さらに，スケールメリットがないため，中規模以上の浄水技術として認知を受けるには，相当なコストダウン努力が必要である。そこでMAC21の終了後，５か年計画で高効率浄水技術開発が，MAC21と同じ産官学の協力体制で平成９年度からスタートした。これは従来技術をベースとし，最新の技術を導入することで，浄水処理システム全体での高効率化を図ろうとするもので，実際には７つのサブテーマから構成されている。

この技術開発により，既施設を改造し，高効率化することで浄水場の敷地を有効活用し，空いたスペースに高度浄水処理施設の導入を実現させる。実際に中規模以上の水道事業体の多くは原水水質の悪化から，高度浄水処理の導入を検討しているが，敷地の確保に難渋しており，このプロジェクトの結果が待望されている。

規制緩和の流れから水道の許認可も地方に移管される。現在，国で施設基準の原案が検討されているが，多分今まで以上に計画の自由度が認められるようになるであろうから，当然事業体のプロセス選択の幅も増すことになる。高度浄水処理もオゾン・活性炭だけではなく，紫外線照射や過酸化水素の併用など，いわゆる促進酸化法の導入もそう遠くはない時期に実現すると期待できる。水道がこれからも安全でおいしい水を供給し続けられるかどうか，一世紀先まで通用する第３の浄水技術を生み出すことができるかどうかがこの数年間にかかっているともいえよう。優秀な若者は常に技術の進歩のあるところに魅力を感ずる。水道が今後も優秀な技術者に支えられ，安定した都市サービスの提供を行えるかどうかは，このプロジェクトの成否にかかっているともいえるであろう。

地球環境を守る水処理技術の動向と展望

伊藤　晴夫（いとう　はるお）　風間　清（かざま　きよし）　土屋　泰則（つちや　やすのり）

1　まえがき

1997年12月1日から11日まで開催された「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」（地球温暖化防止京都会議：COP3）では，二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの「2008年から2012年」の平均排出量を，1990年のレベルより少なくとも5％削減することを目標として，同期間の削減目標が各国ごとに設定された。日本の削減目標は6％であり，水処理分野にとってのエネルギー問題へのアプローチは，地球環境面からの取組み，震災など災害発生時の電力確保，省エネルギーによる経済性の追求などの複合した取組みといえる。本稿では，水処理分野での地球温暖化防止に関する富士電機の取組みと今後の展望についてまず述べる。

水環境問題と合わせて，危機管理も地球環境問題に結びつく重要な課題である。

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災をはじめとし，水処理分野における危機として認識されている事項は，地震による上下水道施設の破損，渇水による給水制限や断水，水源への油やクリプトスポリジウムなどの異物混入，水源水質の悪化による異臭味，トリハロメタン発生などの水道水質悪化などが挙げられる。特に，1996年に埼玉県で発生したクリプトスポリジウムによる感染症の集団発生は，残念ながら水質基準を満たしていた水道水が直接の原因となったものであり，水道界に大きなショックを与えた。本稿では，危機管理に関する富士電機の取組みと今後の展望について次に述べる。

公共事業のコスト縮減は，地球環境問題に結びつく資源問題とも言える。

1997年4月に，政府としての「公共工事コスト縮減対策に関する行動指針」が策定され，公共投資予算の対前年度比マイナス7％や，行動指針を踏まえた諸施策の早急な実施が定められた。公共事業のコスト縮減は，建設費の低減のみで達成されるものではなく，施設を維持していく費用，ならびにその施設の耐用年数が大きく関係してくる。つまりライフサイクルコストの観点がきわめて重要であり，VE（Value Engineering）の手法を用いて，最適価値を持ったシステムの構築が必要で，ソリューション（課題解決）技術が大きな役割を果たす。

図1に富士電機の水環境ソリューション技術を示す。ソリューション技術は情報通信制御分野に限られたものではなく，例えば「最適なコストで地球温暖化防止と危機管理を目的としてオンサイト電源を設置したい」といったテーマがあった場合，燃料電池設備を導入するのもソリューション技術である。

本稿では，最適価値を有するシステムの実現にあたって，富士電機のソリューション技術と今後の展望について最後に述べる。

2　地球温暖化防止と水処理システム技術

地球温暖化防止は技術的にはエネルギー問題に帰結するといっても過言ではない。基本的には，総発電量を増やさずに，増え続ける需要を需要構造の改善（負荷の平準化）によって賄う必要がある。これはいわゆるゼロエミッション（人類の営みが生み出す地球環境への負荷を限りなくゼロに近づける）を実現するための重要な施策の一つである。

富士電機は1992年に「富士電機環境保護基本方針」を制定し，世の中に先駆けて地球環境問題に関する技術開発に取り組んできた。

2.1　上水道分野でのゼロエミッションへの取組み

電気事業法の改正により，買電系統とオンサイト系統とを常時接続して使うための「系統連系ガイドライン」の整備が進んでいる。

オンサイト電源としては，一般的にはガスタービンやディーゼル機関を使用した発電装置が多用されており，富士電機も多数納入してきた。

最近，水道施設内の未利用エネルギーや広い空間を活用したオンサイト電源が注目されている。

貯水池と浄水場間の導水に伴う有効落差を活用した小水力発電に使用される水車には，チューブラ水車やフランシ

伊藤　晴夫

計装システムの設計，鉄鋼計測システムの営業，上下水道用計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部長。

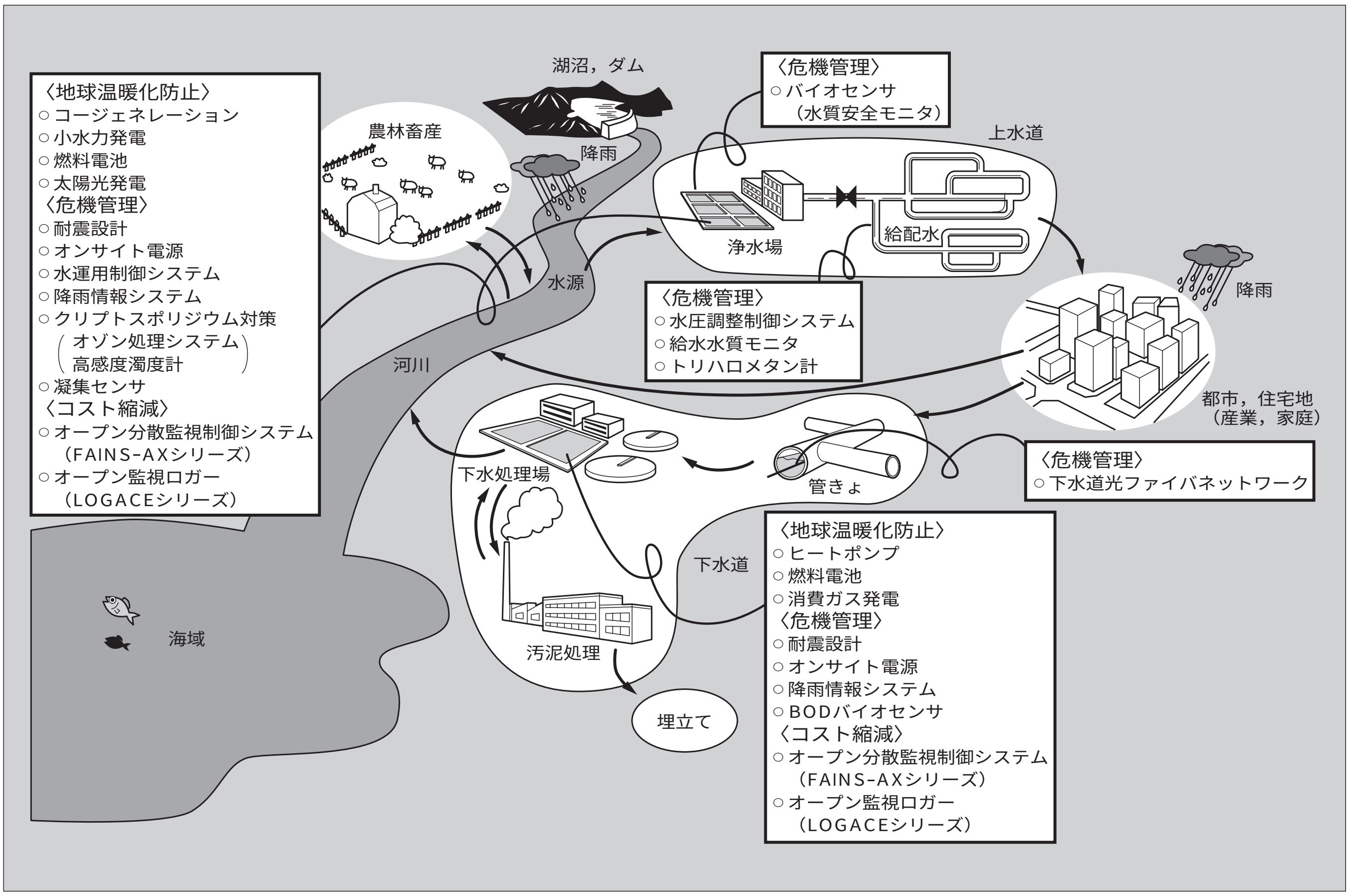
風間　清

上下水道用電気・計装システムの技術企画に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部副事業部長兼公共技術部長。

土屋　泰則

水処理用ソフトウェアの開発設計，医療システムの営業技術，水処理プラントのエンジニアリング業務に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部システム技術部長。

図１　富士電機の水環境ソリューション（課題解決）技術



ス水車がある。この小水力発電は，国の助成措置も整っており，資金面でも有利であり，富士電機の納入実績は多い。

ガスタービン発電は，排熱を活用したコージェネレーションシステムにすることで，総合効率を非常に高めることができ，省エネルギーシステムとして優れており，上下水道分野では先駆的に，富士電機は東京都水道局の東村山浄水場向けに建設中である。

これからの有望なオンサイト電源に燃料電池がある。燃料電池は，電池というよりは発電装置で，従来のガスタービンやディーゼル機関に比べて発電効率が高く，排熱の利用を合わせると総合効率を70～80%にまで高めることができる。排ガス中の窒素酸化物も数 ppm ときわめて少なく，地球環境を守るのに優れたエネルギー源である。燃料電池から得られた直流を，生成次亜装置など直流で稼動する負荷に適用することにより，AC-DC コンバータが不要となり，効率を向上させることができる。富士電機は，オンサイト用リン酸形燃料電池を中心に商用化の段階を迎えており，運転継続時間最長の装置では 3 万 5,000 時間に達している。

浄水場や給水所は広大なオープンスペースを有しており，太陽光発電も有望である。水道のエネルギー需要は，夜間よりも昼間が大きいことから，太陽光発電のメリットを生かしやすい。反面，天候に左右されるので，商用電源との系統連系や蓄電池などの付加が必要になってくる。富士電機は，太陽光発電の上下水道分野への適用においても，積極的に取り組んでいる。

これらのオンサイト電源はエネルギー対策だけでなく，後述の危機管理にも密接なかかわりがある。震災など災害発生時におけるライフラインとしての電力エネルギー確保の側面も，考えなくてはならない事項である。

2.2　下水道分野でのゼロエミッションへの取組み

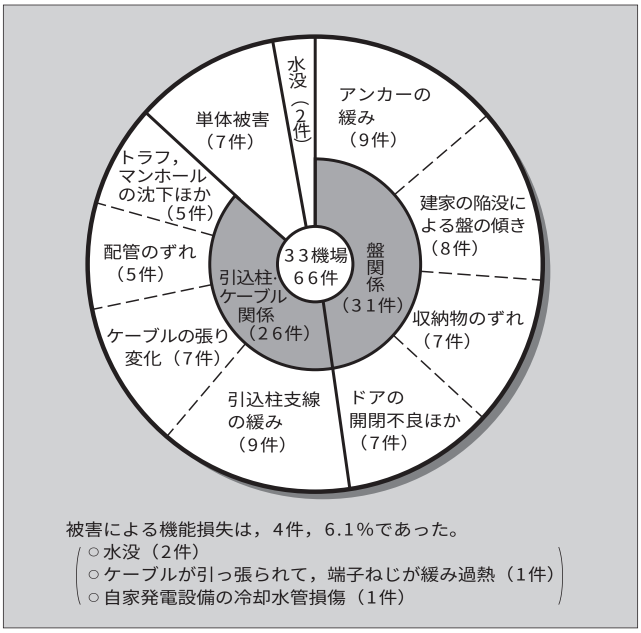
河川水などは水温変動幅が20 ℃前後あるのに対し，下水処理水は 8 ～13 ℃程度と変動幅が小さく，気象などの影響も少ない安定した熱源であるのが特徴である。

都市における社会経済活動により多くのエネルギーが消費されているが，エネルギーは消滅してしまうものではなく，より低レベルのエネルギーに変換されていくにすぎない。下水処理水の中には，このような低レベルのエネルギーが豊富に排出されているが，近年まではこれらの低レベルエネルギーを効率よく利用する技術がなかったため，未利用エネルギーとも呼ばれていた。最近，熱効率の高いヒートポンプの出現により，低レベルエネルギーの利用が可能となった。

東京都下水道局後楽ポンプ所では，未利用エネルギーである下水を熱源とした地域冷暖房システムが採用され，富士電機は本施設の監視制御システムを担当し，未利用エネルギーの高度活用に前向きに取り組んでいる。

汚泥処理過程で産出される消化ガスは，都市ガスと同程度のエネルギーを持っており，消化ガスを燃料とするガス

図２　富士電機が納入した上下水道電気計装設備の阪神・淡路大震災における被害状況



発電設備と，その排熱を活用するコージェネレーションシステムからの回収熱を利用することにより，きわめて高い効率運用が可能となるが，今後この分野においても取り組んでいく所存である。

3　危機管理と水処理システム技術

水処理におけるさまざまな危機に対する，富士電機のソリューション技術を以下に紹介する。

3.1　電気・監視制御システムの耐震設計技術

1995年１月17日に発生した阪神・淡路大震災において，富士電機が納入した上下水道電気計装設備の被害状況を**図２**に示す。致命的損傷はほとんどなく，設備単体の耐震設計は問題がないといえる。

震災時における電力エネルギー源の確保は重要で，前述の地球温暖化防止への動きと合わせ，適切なオンサイト電源の導入は，前向きの取組みである。

阪神・淡路大震災では，地下に埋設された通信線の被害が，地上の通信線の約1/80にすぎなかったとの報告もある。さらに震災時，急増する通信量により回線トラフィック密度がオーバーするような事態も合わせ考えると，後述の下水道管路を活用した光ファイバネットワークは，危機管理に対しきわめて有効な施策といえる。

3.2　渇水による給水制限・断水の最少化技術

安定性の高い水道という観点からは，水需要に対応した適切な水道水源の確保が重要であるが，水需要のひっ迫した地域においては，限られた水資源の効率的な活用，ならびに節水対策が必要である。これを実現する手段として，コンピュータ制御技術を応用した水運用制御技術がある。

本システムが具体的効果を発揮した事例としては，松山市公営企業局に納入した水圧調整システムがある。1994年の異常渇水時，給水量の75％に相当する地区を網羅しているコンピュータの自動制御により，時間給水制限の制水弁開閉作業時間を大幅に削減できたとの報告が，同年松山市で開催された電気学会の公共施設技術委員会シンポジウムにて報告されている。

本システムの中心になるのが管網解析システムであり，オープン監視制御システム FAINS-AX シリーズやオープン監視ロガー LOGACE シリーズと連携運用可能な，パーソナルコンピュータ（パソコン）による管網解析システムを富士電機は開発した。

3.3　水源水質悪化・異物混入に対する対応技術

水源水質悪化やクリプトスポリジウムに対応する技術は次章で述べる。

水道原水の安全性を確認するために，一般的には水道原水で魚を飼育し，その挙動を監視して異常の有無を判断することが多い。しかし魚の挙動監視を自動化することは困難である。

富士電機が開発した水質安全モニタは，急性毒物に対しきわめて感受性が高い硝化菌を使い，バイオ技術を活用して水中の急性毒物を迅速に自動的に検出するモニタリング装置である。

水質安全モニタと，FAINS-AX シリーズや LOGACE シリーズを組み合わせることにより，高度な監視制御システムの構築が可能となる。

3.4　局地的集中豪雨への対応技術

市街地における浸水を防止するためには，浸透性舗装や雨水の貯留施設の設置を行うとともに，降雨情報をより早く，より正確に収集し，下水処理場における流入量を予測して，雨水ポンプの運転を的確に行うことである。

レーダ雨量計を設置する方法もあるが，富士電機は気象庁の雨量情報を活用した，パソコンによる安価な降雨情報システムを開発した。

4　安心できる水と水処理システム技術

クリプトスポリジウムは，宿主内においてのみ分裂増殖し，外界ではクリプトスポリジウムオーシストとなって，二重の層構造からなるオーシスト壁に守られている。したがって，外界では分裂増殖することもせず，各種の消毒剤に対してきわめて強い抵抗性を示す。クリプトスポリジウムオーシストが小さく，外界で増殖しないことが検出作業を困難にしている。

このため，厚生省は1996年10月「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」を策定した。そのなかで，ろ過池出口での濁度を 0.1 度以下に保つことが要請されている。

富士電機は，濁度 0.01 度以下までを検出可能とする高

感度濁度計を開発し，クリプトスポリジウムオーシストの検出対応に寄与している。

水処理においては，病原体に対しては取り除くか，不活化するかによって対処する。除去に関しては，膜法が有望であり，不活化に関しては消毒抵抗性の高い微生物に対して汎用性のあるオゾン処理が有望である。クリプトスポリジウムオーシストの塩素抵抗性は大腸菌の24万倍で，通常の水道で行っている塩素消毒レベルでは，クリプトスポリジウムオーシストの不活化は，ほとんど期待できない。

オゾン処理によれば，99％不活化するためには2.25 mg/Lのオゾンに8分間接触させればよい。これが通常用いられている塩素だと，同じレベルの不活化を達成するには，80 mg/Lで2時間もの接触時間が必要となる。

1993年にアメリカのミルウォーキーで発生したクリプトスポリジウム汚染は世界最大規模で，40万人が感染し，400人以上が死亡するに至った。この後，ミルウォーキーでは，消毒方法をオゾンに変える方向で進んでいる。

富士電機は，このような課題に対し，高効率なオゾン処理システムを開発した。オゾン処理は，クリプトスポリジウムオーシストに対する有望な不活化消毒剤だけでなく，かび臭物質の分解や色度成分の分解に優れた効果を発揮する。また，塩素注入前のオゾン注入により，トリハロメタン前駆物質の分解および塩素注入量の削減が可能となり，有機塩素化合物の生成を抑制できる。

富士電機は，この高度処理システムと膜処理技術を組み合わせた，きわめて危機管理に強い高度浄水技術に取り組んでいく所存である。

5　コスト縮減への取組み

5.1　コスト縮減と監視制御システムのオープン化

コスト縮減は公共事業の緊急テーマである。水処理設備のコストは，建設・維持管理および次世代へのリニューアル（更新）までを総コストとして考え，そのうえでコスト縮減に取り組むべきである。

現状は建設時のコスト（イニシャルコスト）のみが議論されがちであるが，コンピュータなど先端技術を活用した監視制御システムを例に，以下に述べる技術面の対策や保全（アウトソーシングによるメーカー保守など），およびリニューアルへの過程までを含めてシステム・機種を選択することが「VE」であり，真のコスト縮減への取組みといえよう。

昨今，パソコンの急速な普及は，情報処理技術のフラット化を招き，監視制御システムの中に蓄えられているデータを自分のパソコンに自由に引き出し，自由な形で活用したいといったエンドユーザーコンピューティングの要求を生み出した。

しかし，その反面，監視制御システムにユーザーが手を加えても，メーカーは品質保証をしなくてはならないという，矛盾した要求でもあった。

この互いに矛盾した要求にこたえたのがオープン化である。

富士電機は，新オープン分散監視制御システム FAINS-AX シリーズやオープン監視ロガー LOGACE シリーズを開発した。

本シリーズは信頼性のある専用機技術と，世の中に普及した汎用機技術とを融合し，ユーザーの要求に合った適正なシステムを，適正なコストでの提供を可能とした。

5.2　情報通信制御技術とソリューション

建設省では1997年7月に「建設省情報通信ネットワークビジョン」を策定した。このビジョンでは，下水道・道路・河川に管理用光ファイバネットワークを情報通信インフラストラクチャとして整備する方針である。このうち下水道管路を活用した光ファイバネットワークは，2001年までに約1万km，2010年までに10万kmを整備する計画である。

このような下水道光ファイバネットワーク計画に対し，富士電機はLAN技術や光伝送技術をベースに，危機管理に対応した設備の遠隔管理，予防保全を実現するリモートメンテナンスシステムへと応用範囲を広げ，事業体の建設から維持管理までの全過程を，最少のコストで実現できるソリューション技術を提供していく所存である。

6　エンジニアリング・施工・品質管理技術

6.1　企業内 CALS のプラント品手配システム

これからの企業経営，エンジニアリング業務においては，グループ全体のビジネスプロセスを対象とした，業務変革が求められている。

このため，グループ内の情報共有化を最大目標とし，受注生産品の FQCD（機能・品質・コスト・納期）の向上，および間接部門の効率化を狙いとした，全社基幹システム（ACTION）が構築された。ACTIONは，受注決裁・受注・手配・売上げ・進捗（しんちょく）管理を行うシステムである。

富士電機はエンジニアリング情報の共有化を，社内だけでなく，現地建設事務所との間でも行っており，関連事業部門・会社との間で，業務変革の手段として情報共有化を推進中である。

6.2　ISO14000への取組み

上下水道事業は，その目的から見ても，最も環境に配慮した事業といえる。水道事業の環境への影響は，使用する電力の発電に伴う地球温暖化ガス発生，発生汚泥などの処理に伴う土壌汚染，建設工事に伴う土壌汚染・騒音などがある。

ISO14000シリーズの中核となるISO14001は，組織（企業など）の活動および提供する製品やサービスが，環境に与える負荷を常に低減するように配慮し，継続的改善を続けるための組織的な仕組み，すなわち環境マネジメントシステムに対する要求事項を述べた規格である。

企業活動は地域社会と良好な関係を維持し，省資源，省エネルギー，リサイクルを行うことが必要であり，ISO 14001は，その手段として優れている。富士電機は事業所ごとにISO14001の認承取得をしている。

6.3　ISO9000への取組み

ISO9000シリーズ規格は，製品およびサービスの供給者が制定し，実践すべき品質システムに関する一連の国際規程・手引きとして制定され，全世界に普及しつつある。

ISO9000シリーズの中核となるISO9001は，設計・開発・調査・製造・製品の検査・据付け，および付帯サービスにおける品質保証モデルである。

水道事業においても，新しい技術的な展開やコスト縮減が期待されている今日において，ISO9001の規程にのっとった業務手順は重要である。ISO9001を認承取得した企業において生産・サービス提供を受けた製品は，一定レベルの品質が保証され，発注者側のメリットは大きい。

富士電機は事業所ごとにISO9001の認承取得をしており，認承取得を受けた工場で生産を行っている。

7　あとがき

上下水道事業は，地域環境や生活環境に密接なかかわりを持つと同時に，社会的使命を負っている。また，社会の変化やニーズに迅速に対応できる事業体質も求められる。

富士電機は今後も，社会のニーズを先取りした水処理プラント制御技術とシステム技術によって，21世紀に向け上下水道システムの発展に寄与していく所存である。

本特集号を発刊するにあたり，上下水道界各位に誌上を借りて，厚くお礼を申し上げるとともに，今後のご指導・ご支援をお願いする次第である。

参考文献

(1)　鬼頭昭雄：地球温暖化，エネルギーレビュー，No.3，p.6-10（1997）
(2)　関根勇二：エネルギーと水道，水道協会雑誌，Vol.65，No.6，p.2-12（1996）
(3)　リン酸型燃料電池の開発の現状，電機，No.1，p.31-34（1997）
(4)　下水熱利用促進研究会：未利用エネルギー活用の手引き，p.1-157
(5)　平田強ほか：クリプトスポリジウム汚染と水道，水道協会雑誌，Vol.64，No.12，p.2-9（1995）
(6)　八木正一：クリプトスポリジウム汚染と水道，環境技術，Vol.26，No.9，p.21-25（1997）
(7)　平田強ほか：水中のクリプトスポリジウムの存在量，環境技術，Vol.26，No.9，p.15-20（1997）
(8)　遠藤卓郎ほか：クリプトスポリジウムの検査法，環境技術，Vol.26，No.9，p.9-14（1997）
(9)　木俣勲ほか：クリプトスポリジウムとはどのような原虫か，環境技術，Vol.26，No.9，p.3-7（1997）
(10)　古村紀夫ほか：電機業界を取り巻く高度情報化の動向，電機，No.2，p.29-40（1998）
(11)　松田瀬戸一郎：ISO9000シリーズ規格と水道，水道協会雑誌，Vol.66，No.2，p.2-11（1997）
(12)　北條貞宗：ISO14000シリーズ規格と水道，水道協会雑誌，Vol.66，No.10，p.2-12（1997）
(13)　建設省都市局下水道部：下水道管理高度情報化のすすめ（1997-10）
(14)　中神芳夫：VEとはなにか，月刊下水道，Vol.20，No.13，p.22-25（1997）
(15)　白水暢ほか：水道のリスクに対する需要者の認識，水道協会雑誌，Vol.65，No.10，p.15-25（1996）
(16)　石橋隆史ほか：耐震設計と電気制御技術，富士時報，Vol.68，No.6，p.342-347（1995）

水処理施設における新エネルギー技術

中原　泰男（なかはら　やすお）　**山本 総一郎**（やまもと　そういちろう）　**徳弘　勝由**（とくひろ　まさよし）

1　まえがき

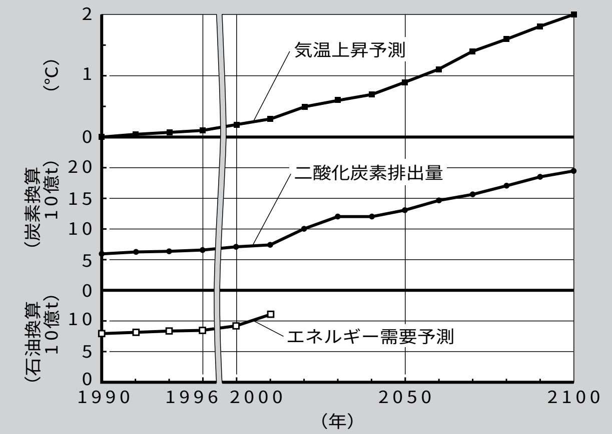
1997年12月に開催された「気候変動に関する国際連合枠組み条約第３回締約国会議」（地球温暖化防止京都会議：COP3）をはじめとし，エネルギーに関する地球環境問題への関心が高まっている。本稿では，地球環境問題とエネルギーとのかかわりについて，政府のシミュレーションや発電方式によるLCA（Life Cycle Assessment）を通して整理するとともに，水処理分野におけるエネルギー系環境問題の解決策の一つである新エネルギー技術とその導入例を紹介する。

2　地球環境問題とエネルギー

2.1　世界のエネルギー消費とエネルギー系環境問題

IEA（国際エネルギー機関）およびIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の資料によると，世界のエネルギー消費は，**図１**に示すように増加し続けると予測されている。エネルギー消費の大半が化石燃料であることから，このままでは CO_2 と SO_x，NO_x の排出量が増大し，その結果地球の気温が上昇することになり，海面の上昇や異常気象が発生する。さらに，酸性雨により森林の枯渇が起こる。この二つがエネルギー系環境問題であり，非化石燃料化（新エネルギー）とエネルギー消費の削減（省エネルギー）が必要となる。

図１　世界のエネルギー需要と地球の気温上昇予測



［出典］エネルギー需要予測：IEAによる一次エネルギー需要見通し
二酸化炭素排出量　：IPCC第2評価報告「自然体ケース」（1995年12月）
気温上昇予測　　　：IPCC第2評価報告「自然体ケース」（1995年12月）

2.2　日本の超長期エネルギー需給見直しとシミュレーション

1996年12月末の総合エネルギー調査会の中間報告に用いられたシミュレーション結果を**図２**に示す。

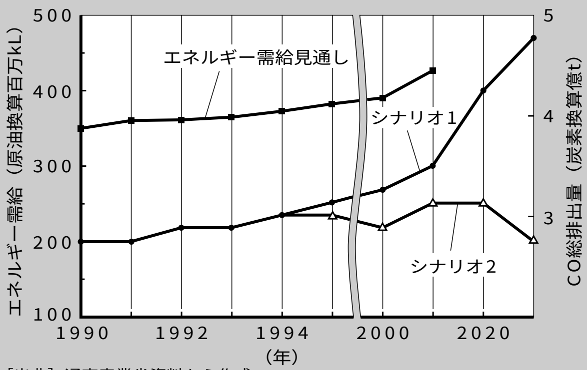
これによると，CO_2 の総排出量を2030年で1990年レベルに抑えるためには，次の施策が必要となる。

(1)　新エネルギーは，現状1994年のシェア 1.2 %（原油換算 670 万 kL 相当）を2030年には10倍の11%（同 8,000 万 kL 相当）とする。

(2)　省エネルギーは，現状の消費伸び率 3.1 %/年（1986～1994年度）を 0.7 %/年（原油換算 5,000 万 kL 相当）に抑える。

地球温暖化防止京都会議の結果は，「日本は2008～2012

図２　日本のエネルギー需給見通しとシミュレーション結果



［出典］通商産業省資料から作成

中原　泰男

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部首都圏技術部長。

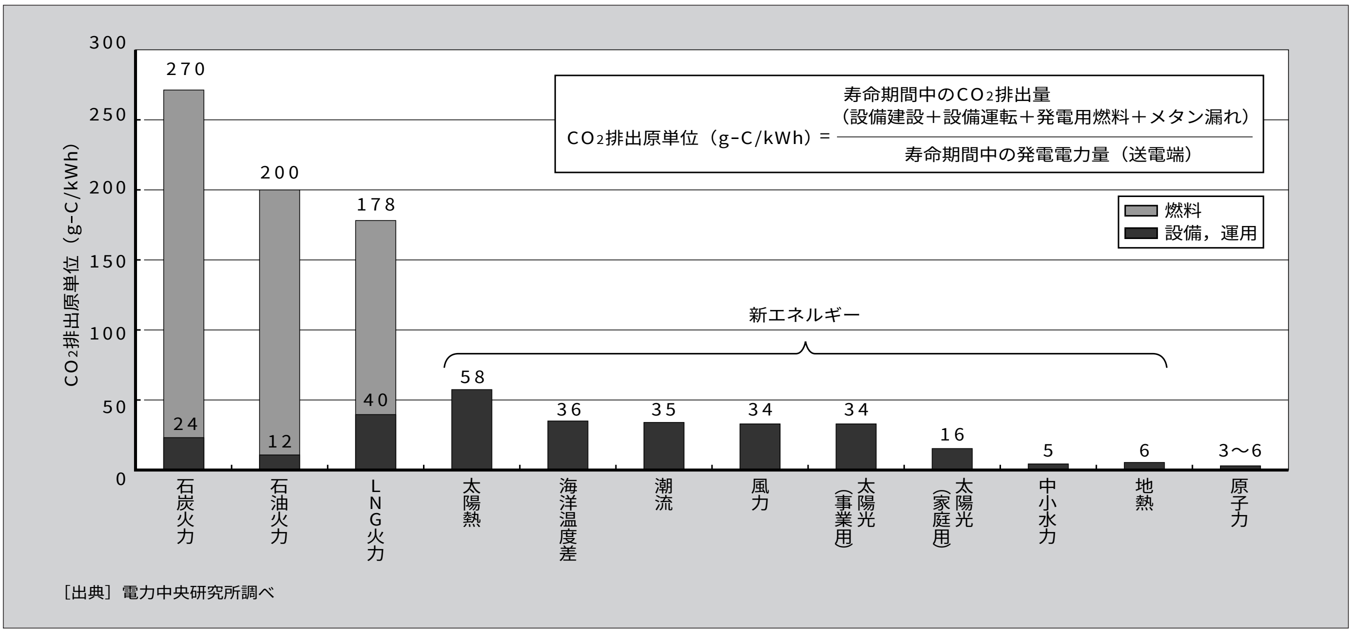
山本 総一郎

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部首都圏技術部課長。

徳弘　勝由

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部主任。

図３　発電方式と CO_2 排出原単位の比較



［出典］電力中央研究所調べ

年の温室効果ガスの平均排出量を1990年のマイナス６％とする」であり，前記シミュレーションによる施策を相当前倒しする必要が出てきた。

2.3　発電方式と LCA

日本における全エネルギー消費の60%が電力消費であり，エネルギー問題に取り組むには，発電方式の選択が重要である。

発電方式を評価する場合，燃料種別だけでクリーン度（CO_2 排出量）は比較できない。すなわち，発電設備の建設から寿命に至るまでの期間を，燃料の採掘や輸送も含めて，発電にかかわるすべてのエネルギー消費を比較検討する必要がある。これが LCA の考え方である。ここでは，CO_2 排出量を指標としたライフサイクル分析（**図３**）を紹介する。

これによると，太陽光発電や温度差発電などの新エネルギーは，建設費は大きいが CO_2 抑制効果は火力発電の５〜10倍ある。また，中小水力発電の CO_2 排出原単位は石油火力の1/40と最も低く，これら新エネルギーによる水処理分野への導入効果は大きい。

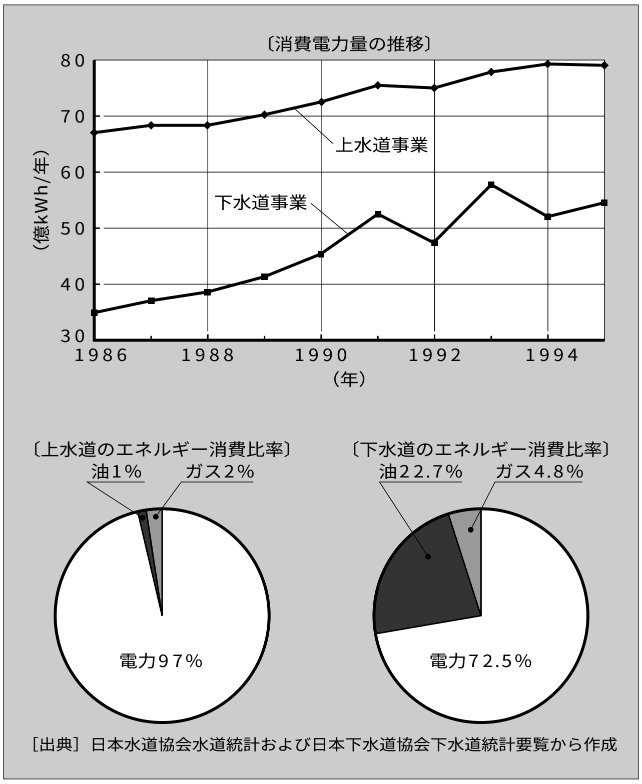
2.4　水処理分野におけるエネルギー系環境問題

図４から分かるように，上水道と下水道におけるエネルギー消費の大半は電力消費であり，しかも毎年の消費電力量は上昇傾向にある。

したがって，水処理分野におけるエネルギー系環境問題への取組みとして，消費電力低減に関しては省エネルギーが，発電に関しては新エネルギーによる分散形電源（太陽光，コージェネレーション，下水熱温度差エネルギー，燃料電池など）の導入促進が重要となる。

図５に示すように，新エネルギー導入大綱の前提となった重点導入目標もそれを示している。また，国策にそって

図４　上下水道の電力量の推移とエネルギー消費比率



［出典］日本水道協会水道統計および日本下水道協会下水道統計要覧から作成

導入を図ることは，補助金も含め効果が大きい。

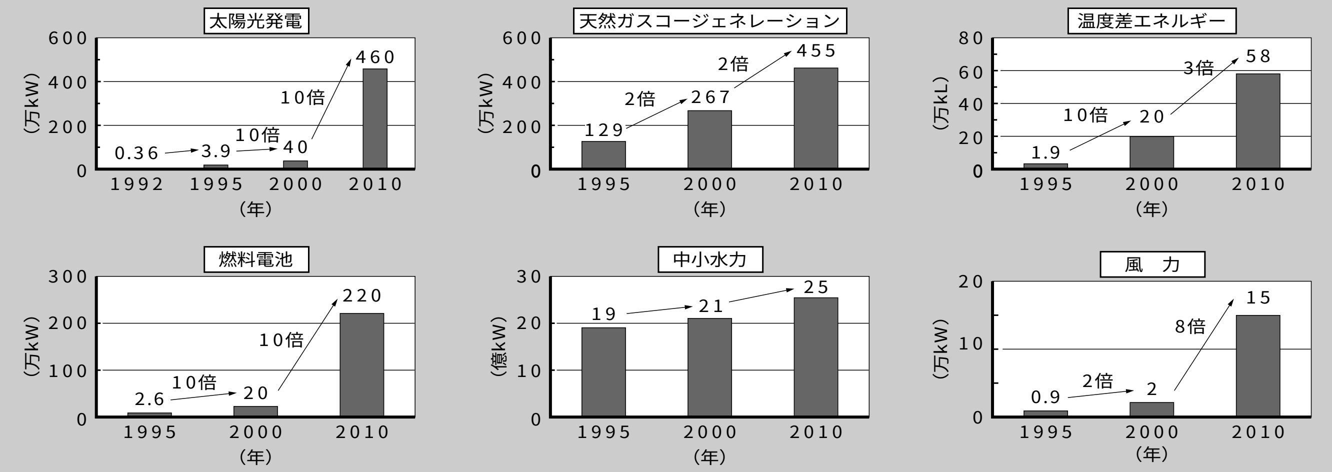
3　新エネルギー関連法規と導入促進事業

3.1　新エネルギー導入大綱（1994年12月閣議決定）

新エネルギーの導入促進を中長期的観点から策定された政府の基本方針であり，要点を以下に記す。

(1)　重点導入を図る新エネルギー８項目（**図５**を含む）を定めた。

図５　新エネルギーの重点導入目標



［出典］通商産業省資料から作成

表１　水処理施設に関連する主な新エネルギー導入促進事業

区　分	導入促進事業	1998年度予算（億円） （　）は1997年度	対象設備・対象事業	事業補助率
通商産業省（NEDO）	先導的省エネルギーモデル事業（新規）	20.0　（―）	総合的な省エネルギーへの取組みで先進性があり，波及効果の高いもの	1/3
	太陽光発電フィールドテスト事業	25.7（13.5）	太陽光（うち産業用24億円）	1/2
	風力発電フィールドテスト事業	15.3　（4.6）	風力（立地調査含む）	1/2
	先導的高効率エネルギーシステムフィールドテスト事業	3.6　（3.3）	リン酸形燃料電池を用いたコージェネレーションシステム	1/3
	環境調和型エネルギーコミュニティ事業	30.4（33.9）	コージェネレーション，未利用エネルギー	15%以内，上限6億円
	新エネルギー事業者支援事業	53.9（11.2） （うち債務保証10億円）	太陽光（100kW以上），温度差，コージェネレーション（200kW以上），燃料電池（800kW以上）など先進的で大規模なシステム	1/3
	☆地域新エネルギー等普及促進対策事業	43.8（24.3）	太陽光（150kW以上），温度差，コージェネレーション（300kW以上），燃料電池（150kW以上）など	1/2
	☆地域新エネルギービジョン策定等事業	8.0　（6.5）	新エネルギービジョンの策定	定　額
通商産業省（NEF）	中小水力発電開発費補助	22.5（36.3）	中小水力の発電所建設　5,000kW以下20～30%， 中小水力技術開発の実証試験　5,000～30,000kW以下10～20%	実証試験は1/2
自　治　省	☆水道事業等における小水力発電の推進	5.0　（5.0）	水道事業および工業用水事業の付帯事業（売電）としての小水力発電	地方債措置（充当率100%）
建　設　省	☆熱利用下水モデル事業	1.2兆円の内数	下水および下水処理水熱の有効利用	1/2

☆：地方公共団体だけを対象，NEDO：新エネルギー・産業技術総合開発機構，NEF：新エネルギー財団

(2)　技術開発の推進などの導入方策と導入目標（**図５**）を定めた。

(3)　規制緩和，導入促進事業を行う。

3.2　電気事業法の改正など（1995年12月施行）

新エネルギー導入大綱を受け，電力の効率的かつ安定供給を目的に規制緩和の一貫として改正された。

(1)　発電市場の自由化，特定電気事業制度の創設など，新規参入を狙った事業規制の見直し

(2)　料金規制の改善，料金設定の柔軟化

(3)　工事計画の認可・届出範囲，検査対象範囲，主任技術者の選任義務の縮小，小規模発電の一般用電気工作物への区分など，自己責任の明確化

(4)　分散形電源の系統連系技術要件ガイドラインの改訂

3.3　新エネルギー法（新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法・1997年６月施行）

新エネルギー導入大綱に一部見直しを加えて具体化し，法令化したもので，エネルギー使用者，エネルギー供給事業者および製造・輸入事業者に対し，新エネルギーの導入促進に努力する責務を課している。

3.4　新エネルギー導入促進事業

これら法的な新エネルギーの導入促進策を背景に，通商

図６　太陽光発電システムの基本構成

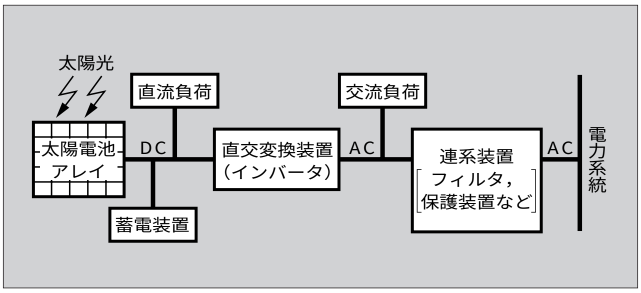


図７　アモルファスシリコン太陽電池

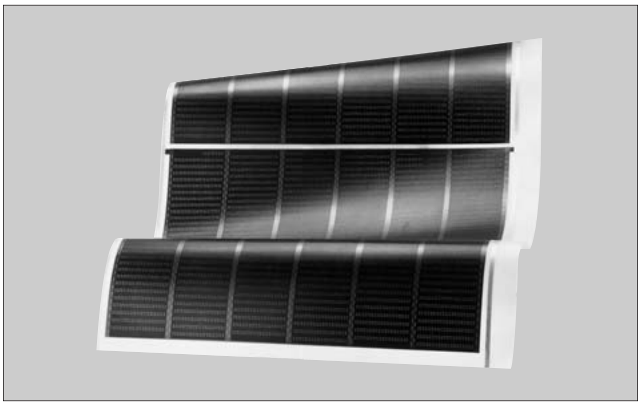
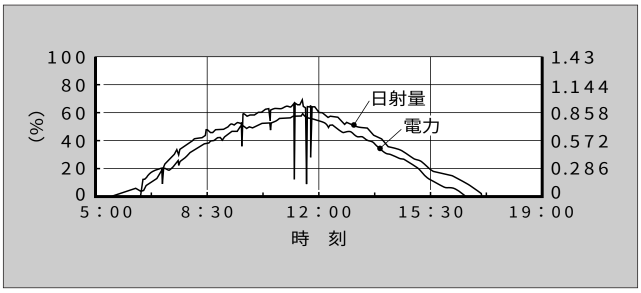


図８　晴天時の日射量，発生電力のトレンド



産業省を中心とした導入促進事業が進められている。水処理施設に関連する補助事業を**表１**に示す。補助金となる予算額も年々増加しており，1998年度の新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の補助事業は，1997年度に比べ全体で３倍，上下水道関連で２倍の約200億円に増加している。

4　太陽光発電システムと水処理施設への導入

4.1　太陽光発電システム

地球表面に照射される太陽エネルギーは，人類が１年間で消費するエネルギーを40分程度で賄うほどの量があるといわれている。しかしながら低密度で発電量が日照や天候など，季節や気象条件に左右されるために安定して利用しにくいエネルギーでもある。一方，地球環境破壊につながる大気汚染物質や騒音などを発生せず，地球上いずれの場所でも利用できるクリーンで静粛なエネルギー源である。太陽光発電システムの基本構成を**図６**に示す。

表２　太陽光発電システムの上下水道施設への適用案

上下水道施設の特長	太陽電池の設置場所	適用太陽光発電システム
利用可能な上部空間が大きい。	○浄水池，沪過池の上部空間 ○初沈，終沈，ばっ気槽の上部空間［覆蓋（ふくがい）］ ○施設建築物の屋上	○中・大容量設備 ○商用連系システム （蓄電池は通常なし）
配水池など山間部に設置される施設がある。	○施設建築物の屋上 ○専用取付架上（柱上など）	○小容量設備 ○商用連系システム （蓄電池により停電対策）
圧力，流量，水質など検出端が点在する。		

図９　東京都東村山浄水場太陽光発電システム

4.2　太陽電池の発電原理と種類

太陽電池は，p形半導体とn形半導体を接合したpn接合構造と電気を取り出す電極で構成される。

接合部に光が当たると光電効果により電子（－電荷）と正孔（＋電荷）が発生し，電子はn形半導体側に正孔はp形半導体側に移動し，電極間に起電力が生じる。

現在主として使用される太陽電池は，半導体にも用いられているシリコンを材料としたシリコン系太陽電池であり，単結晶や多結晶などの結晶系のものと，アモルファスシリコン太陽電池（**図７**）のような非晶質系とがある。

4.3　水処理施設への導入

水処理施設は，池が多く上部に利用可能な空間を持つ施設が多いことや，水処理に伴うエネルギー需要の季節的・時間的変化（夏季で日中晴天時）と太陽エネルギーの変化とが類似しており（**図８**），太陽光発電システムの適応性は高い。

電力系統から独立したシステムの場合は，発電電力の不確実性に対する対策として，蓄電池の設置や風力発電・小水力発電など他の発電装置とのハイブリッド化を検討する。電力系統と連系するシステムの場合は，分散形電源連系ガイドラインによる系統連系保護装置などの設置に留意する。

上下水道施設への適用案を**表２**に示す。納入例として東京都水道局東村山浄水場向け70 kW 太陽光発電実証試験システム（**図９**）と愛媛県大三島町宮浦浄化センター向け20 kW オキシデーションデイッチ用太陽光発電システムがあ

図10　コージェネレーションシステムの基本構成とエネルギーフロー

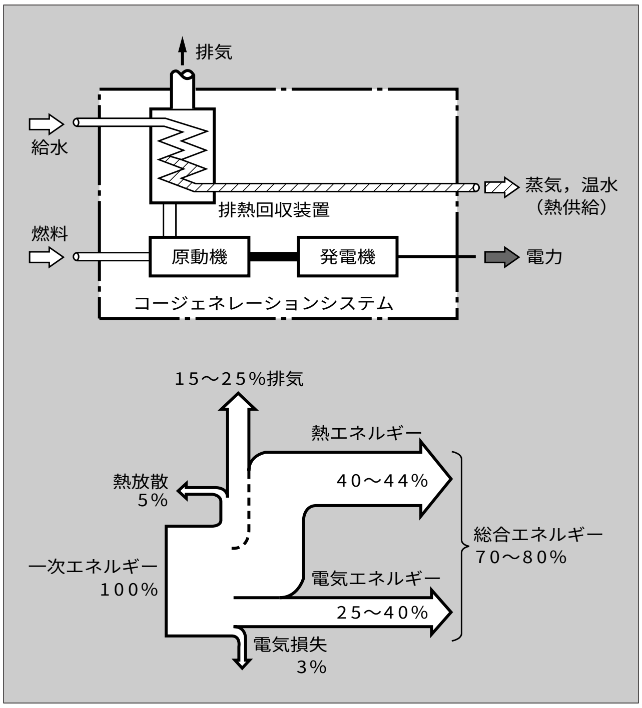
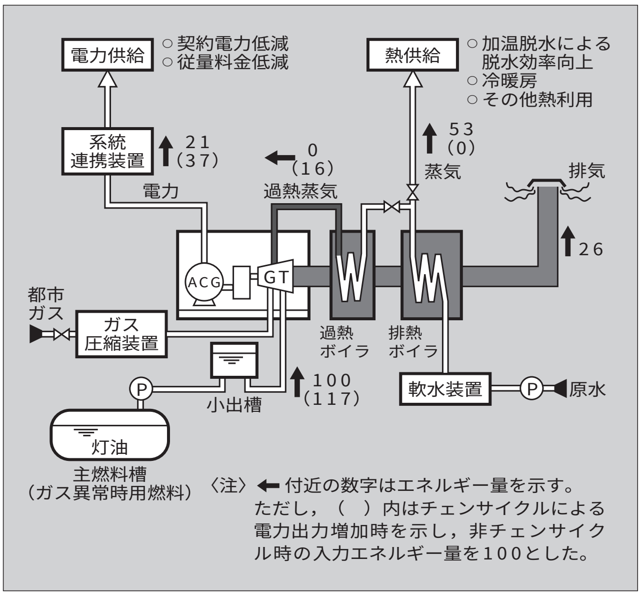


図11　コージェネレーションシステムの構成（チェンサイクル）



る。太陽光発電は燃料が不要なため，発電電力 1 kWh あたり炭素換算質量で 0.46 kg の CO_2 削減となる。

5　コージェネレーションシステムと水処理施設への導入

5.1　コージェネレーションシステム

コージェネレーションシステムは，石油・天然ガスなどの燃料から発電し，排熱を回収して，エネルギーを有効利用（熱電併用）するシステムである。目新しい技術ではなく産業用自家発電装置のほとんどがコージェネレーションシステムである。

最近は，特にオフィスビル，病院，スポーツ施設や健康ランドのレジャー施設などの民生分野では，発生する熱を冷暖房や給湯に利用できることから，導入が進んできている。

コージェネレーションシステムは，従来の発電システムの発電端効率（26～40%）に排熱の回収利用（40～44%）を加えて，総合効率を70～80%に高めるものである。

コージェネレーションシステムの基本構成とエネルギーフローを**図10**に示す。

コージェネレーションに使用される原動機には，ディーゼルエンジン，ガスエンジン，ガスタービンがあり，それぞれの特長に応じて選択する必要がある。水処理施設内には，発電に見合う熱負荷がないのが一般的である。

そこで，大規模のものでは蒸気タービンを駆動してさらに電力として回収する方法や，ガスタービンエンジンの燃焼筒へ過熱蒸気として注入し，発電効率を15%程度引き上げる方法（チェンサイクル）を検討する必要がある。**図11**にチェンサイクルのコージェネレーションシステムの構成を示す。

5.2　水処理施設への導入

水処理施設では，自所内の熱負荷が少ないという現状があり，特に下水処理場では逆に焼却炉のような別の発熱源もある。自所外への熱供給や自所内における熱の有効利用を検討する必要がある。また，水処理施設は，地域住民のライフライン確保のための重要施設であり，災害時にその水処理機能を保全するための最低条件として電源確保が重要である。

このために発電設備を常用化することで，災害時無停電で施設の運用を継続可能とし，かつ排熱を回収利用すれば，水処理施設へのコージェネレーションの導入効果は大きい。そういった意味で，東京都水道局東村山浄水場向けに製作中の 2,000 kW × 2 台のコージェネレーションシステムは，常用運転を行い，脱水効率を向上させるために排熱を脱水処理に利用しており，先駆的なシステムである。

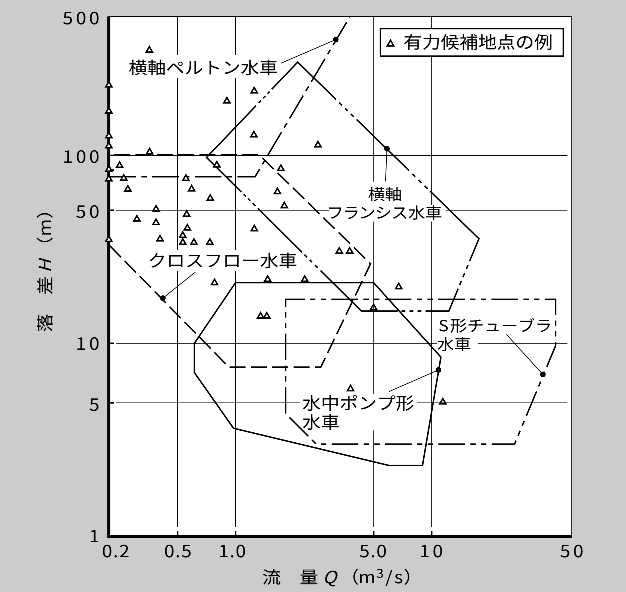
6　小水力発電システムと水処理施設への導入

6.1　小水力発電システム

小水力発電システムが利用するエネルギーは，未開発包蔵水力と呼ばれるもので，全国で 514 億 kW/年で全国の電灯需要に相当するともいわれている。そのなかで水道事業体（水道，工業用水道）施設内の余剰水圧による発電電力は，有望なものだけでも41団体，67か所で 22,471 kW（自治省調べ）にも及び，約 2 億 kWh/年の発電量となる。

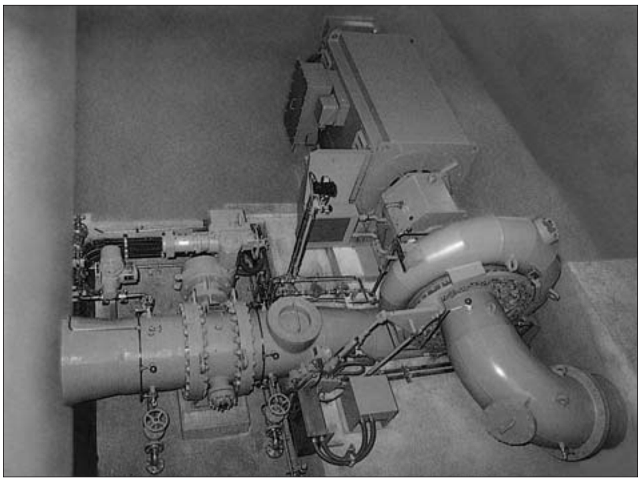
有力候補地点の発電量は 100 ～ 1,100 kW 程度で，流量は 0.4 ～11 m^3/s，落差は 6 ～ 320 m の範囲であり，適用する水車を調べると S 字チューブラ水車をはじめとして，横軸フランシス水車，クロスフロー水車，横軸ペルトン水車と多様となる。有力候補地点の発電装置の仕様を水車の形

図12　水車の形式選定



［出典］（財）新エネルギー財団発行中小水力発電ガイドブックから抜粋

図13　群馬県県央第一水道向け 840 kW 横軸フランシス水車発電機



式選定図にプロットしたものを**図12**に示す。

下水道の放流口のような低落差の地点には，プロペラ形水車を用いたマイクロ水車（**図12**中の水中ポンプ形水車に相当）を適用する。

6.2　上下水道施設への導入

上水道施設においては，減勢引入箇所（中落差），下水道施設においては放流口（低落差）への適用が考えられる。いずれも発電電力が水量に比例するため，水処理施設の電力需要と発電量はマッチングすることが多い。

上水道施設用は，直接飲料用水に触れるため，飲料水としての水質保全や飲料用水中に含まれる腐食性の塩素対策を行っている。

導入例として大きなものでは，群馬県県央第一水道向け 840 kW 横軸フランシス水車発電機（**図13**），小さなもので

図14　下水の水温と気温

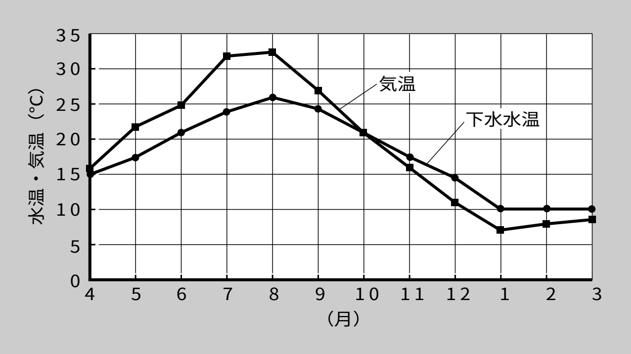
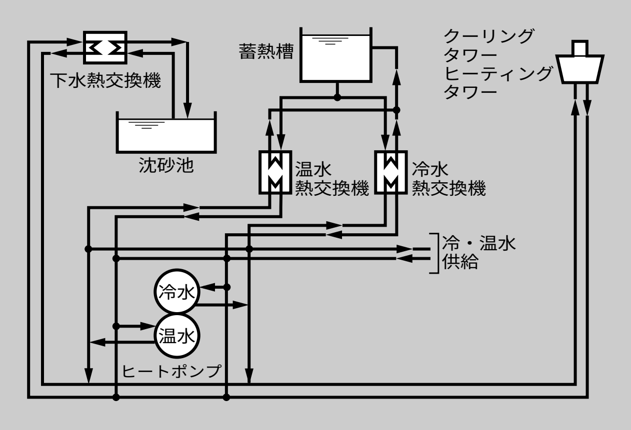


図15　下水熱利用熱供給システム例



は新潟県胎内川向け20 kW マイクロ水車発電機がある。

群馬県県央第一水道の年間発電電力の実績値は，6,303 MWh（年間平均出力 755 kW）と報告されており，利用率が大きい。

7　未利用エネルギー活用形熱供給システム

7.1　未利用エネルギー

下水・河川水などの温度差エネルギー（夏は冷たく，冬は温かい水）や工場などの排熱といった，今まで利用されていなかったエネルギーを総称して「未利用エネルギー」と呼び，具体的には，①生活排水や中下水の熱，②河川水・海水の熱，などが挙げられるが，都市部において導入が進んでいる下水の熱エネルギーについて導入事例やシミュレーションシステムの開発について紹介する。

7.2　下水熱エネルギーと導入例

公共分野における未利用エネルギーとして都市廃熱エネルギーがあり，その賦存量については幾つかの試算があるが，東京都下水道局の計算によると，下水のエネルギー賦存量が最も大きく全排熱エネルギーの40%を占める。

未利用エネルギーとして下水と気温の温度差（**図14**）を利用した地域熱供給事業は，東京の後楽一丁目地区や千葉の幕張新都心ハイテクビジネス地区など，全国に 4 か所ある。導入における課題として，大規模の場合は熱供給地区

図16　プラントシミュレーション機能

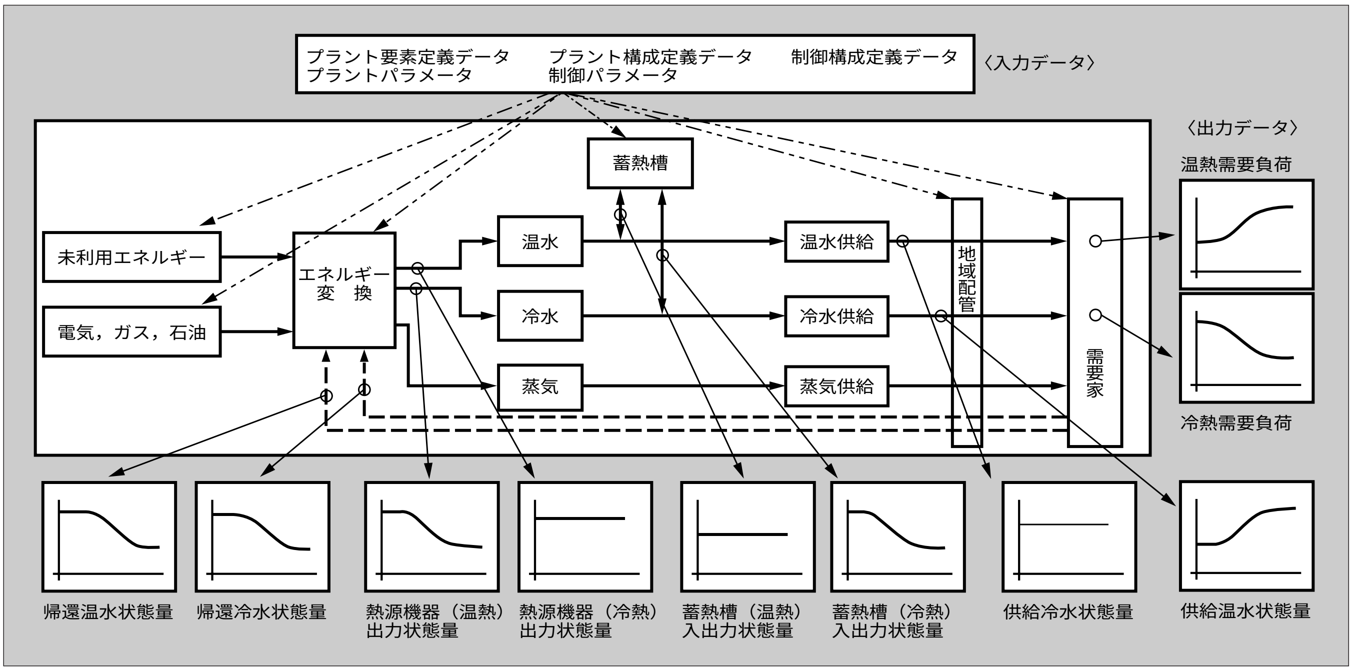


表３　東京・後楽一丁目地区地域冷暖房（後楽地冷）事業の
熱エネルギーと削減率

項　目	単　位	1996年度		
		個別熱源	後楽地冷	削減率
		使用量または発生量		
熱需要量	Gcal	9,350/年		
一次エネルギー	Gcal	11,013	7,738	30%
CO_2	t	2,210	1,301	41%
NO_x	kg	1,194	710	41%
SO_x	kg	1,426	544	62%

の近くに熱源となるポンプ場や処理場が立地していることであり，小規模の場合は熱供給先が場内となるため熱の有効利用の検討が必要となる。また，NEDOによる「環境調和型エネルギーコミュニティ事業」の補助制度を活用できる。

日本で最初の未処理下水を利用した地域冷暖房システムである，後楽一丁目地区地域冷暖房事業の下水熱利用熱供給システム例を**図15**に示す。

東京都の第三セクターである東京都下水道エネルギー(株)が事業主体として1994年７月から安定した熱供給を行っており，省エネルギー効果は，**表３**に示すように1996年度実績では30%のエネルギー削減率を達成している。

7.3　下水熱利用地域冷暖房シミュレーションシステム

下水熱回収ヒートポンプと熱成層形蓄熱槽を熱源としたプラントをモデルに，①最適設計のための動的プラントシミュレーション，②熱需要予測シミュレーション，の開発を行った。本システムにより，プラントのパラメータを入力することにより，各種状態の推移が模擬でき，地域冷暖房システムの計画において，最適なシステムによる制御方式の構築ができるようになった。**図16**にプラントシミュレーション機能を示す。

図17　燃料電池の外観

8　水処理施設に関連するその他の新エネルギー

8.1　燃料電池

燃料電池（**図17**）は，天然ガス，メタノールなどの燃料を改質して得られた水素と大気中の酸素を電気化学的に反応させることによって，直接直流電気を発生するクリーンなエネルギー源である。

NEDOの導入促進費などによる補助があり，低コスト化や長時間運転に対する耐久性の改良など，商用化の段階を迎えている。

水処理分野においては，下水処理場内にて発生する消化ガスを燃料として発電を行ったり，浄水場において燃料電

池から発生する電力を直流のまま使用し次亜塩製造時の食塩水電気分解を行うなど，水処理独特の導入が進められている。

8.2　その他風力発電設備など

ニューサンシャイン計画による長期にわたる風況調査の結果，わが国にも相当量の風力資源があることが明らかとなり，風力発電設備の本格導入に向けた検討が行われている。また，風力発電と太陽光発電のハイブリッドシステムにより自然エネルギーをより安定したシステムとすることも検討されている。

9　あとがき

水処理分野におけるエネルギー系地球環境問題を解決するためには，新エネルギー技術が有効な手段であることを示し，その導入例についても紹介した。今後の導入促進と環境問題対策の一助となれば幸いである。

新エネルギー技術は，低コスト化と高効率化など研究課題がまだ多くある。今後とも改善に向けて努力する所存である。

参考文献

(1)　通商産業省編：エネルギー '97（エネルギー白書），電力新報社（1997）

(2)　通商産業省資源エネルギー庁編：新エネルギー便覧，通商産業調査会（1997）

(3)　電気学会技術報告 606 号，太陽エネルギー直接・間接利用技術の開発動向（1996）

(4)　電気学会公共施設研究会：公共施設における新省エネルギー技術資料（1998）

(5)　新エネルギー開発利用実態調査報告書，新エネルギー財団（1997）

技術論文社外公表一覧

標題	所属	氏名	発表機関
LMI 手法によるリニア式 3 慣性系の位置制御	SIセンター 〃 〃	項　東輝 鈴木　聡 黒谷　憲一	電気学会システム・制御研究会（1998-3）
クリーンルーム中の有機汚染物質の推移	富士電機総合研究所 〃 〃 松本工場 〃 社会システム事業部	蛭田　玲子 折笠　仁 石渡　統 岩田　秀之 長野　恵 諏訪　延行	日本空気清浄協会第 16 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会（1998-4）
複数モータ一括制御電車の空転抑制制御	SIセンター 〃 富士電機総合研究所 SIセンター 交通・特機事業部	項　東輝 鈴木　聡 松本　康 黒谷　憲一 油谷　浩助	計測自動制御学会第 6 回制御技術シンポジウム（1998-4）
低速大トルク PM モータ	富士電機総合研究所 〃	大沢　博 遠藤　研二	日本能率協会モータ技術シンポジウム（1998-4）
高圧電動機の劣化診断と余寿命	富士電機総合研究所	小原　孝志	施策研究センター工場電気設備の診断・保全講座（1998-4）
圧力による需要量変動を考慮した管網計算	エフ・エフ・シー 〃	窪田　真和 伊藤　修	第 49 回全国水道研究発表会（1998-5）
富士電機におけるりん酸形燃料電池の開発状況	技術開発室	吉岡　浩	燃料電池開発情報センター（FCDIC）第 5 回燃料電池シンポジウム（1998-5）
シールレス構造 30 セルスタックの開発	富士電機総合研究所 〃 〃 〃 〃 〃 〃	角川　功明 新藤　義彦 後藤平四郎 岩崎　慎司 竹野入俊司 中原ゆかり 小関　和雄	〃
オンサイト型燃料電池用改質装置の開発	技術開発室 〃 〃 〃	横山　尚伸 大賀　俊輔 清田　透 中川　功夫	〃

水処理施設における省エネルギー技術

竹原　廣人（たけはら　ひろと）　麻田　雅宣（あさだ　まさのり）　佐藤　匡則（さとう　まさのり）

1　まえがき

日本はオイルショックを契機として，官民を挙げて省エネルギーの推進に取り組んできた。その結果，今日ではエネルギー消費の対 GDP（Gross Domestic Product）原単位は，第一次オイルショックの時と比較すれば約35%改善という著しい成果を上げるまでになった。

しかしながら，近年，石油価格などの低位安定に加え，国民のライフスタイルの変化，OA 機器の普及，物流量の増大などによって，民生・運輸を中心にエネルギー消費は増大しており，**図１**に示すように，最近７年間の年間平均伸び率は 3.1 %という高い値になっている。

一方，1996年12月の総合エネルギー調査会の中間報告に用いられたシミュレーションによると，二酸化炭素の総排出量を2030年で1990年レベルに抑えるための施策のうち，省エネルギーは，現状の消費伸び率 1.3 %/年（1979〜1994年）〜 3.1 %/年（1986〜1994年）を 0.7 %/年に抑える必要がある。

さらに，1997年12月に開催された「気候変動枠組み条約第３回締約国会議」（地球温暖化防止京都会議： COP3）で，日本の温室効果ガス排出量分担が採択されたことで，省エネルギー施策を加速推進することが義務づけられた。

水処理施設においても，地球環境問題への国際的な関心の高まりと，具体的な施策や目標値が打ち出されたことにより，従来より格段に省エネルギー技術の導入が進んできた。

本稿では，水処理施設の消費エネルギーについて整理し，解決策となる省エネルギー技術とその導入例を紹介する。

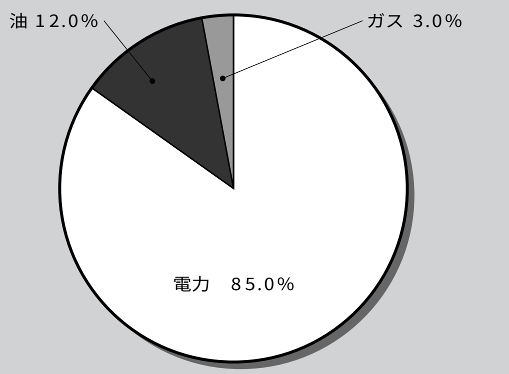
図１　日本のエネルギー需要および GDP の変化

［出典］総合エネルギー統計，国民経済計算年報

2　水処理施設における省エネルギー

水処理施設における消費エネルギーは，**図２**に示すように大半が電力である。**図３**に上下水道の電力量の推移を示す。1995年度における電力使用量は，上水道で約79億 kWh，下水道で約55億 kWh となっており，その合計は国内総電力量の約 1.5 %を占めている。また，最近の電力使用量の伸び率は，上水道，下水道ともに国内総電力量以下であるが，電力使用量原単位（kW/m^3）は年々増加傾向にあり，過去10年間で，上水が11%，下水が24%伸びている。したがって，水処理施設における省エネルギー推進の

図２　上下水道事業におけるエネルギー消費比率



［出典］日本水道協会水道統計および日本下水道協会下水道統計要覧から作成

竹原　廣人

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部首都圏技術部課長。

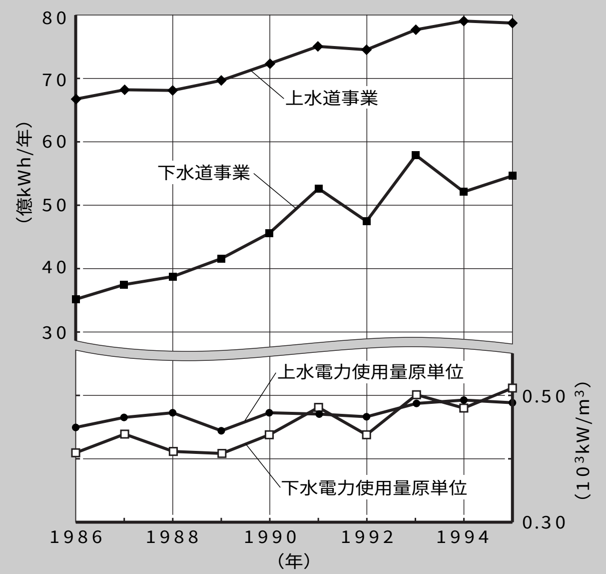
麻田　雅宣

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部課長。

佐藤　匡則

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部。

図３　上下水道の電力量の推移



［出典］日本水道協会水道統計および日本下水道協会下水道統計要覧から作成

必要性は大きい。

2.1　省エネルギー関連法規と導入促進事業

現在までに，省エネルギーに関する法規，導入促進事業の整備が進んでおり，水処理施設への省エネルギー化を推進する環境は整ってきた。

2.1.1　省エネルギー法

正式には，「エネルギーの使用の合理化に関する法律」で1979年（昭和54年）10月に施行された。

⑴　本法では，エネルギー使用者の合理化努力が義務づけられている。エネルギー使用者は，通商産業大臣が公表した具体的な判断基準に従って，①エネルギー消費効率の高い設備機器の導入，②既設設備の更新・改善・制御のための付加設備の導入，③設備の適切な運転管理，④エネルギー管理体制の充実，などに取り組まなければならない。

⑵　1998年の改正案は，エネルギー消費は依然増加傾向にあるため，さらなるエネルギー使用合理化の徹底，罰金・過料の金額見直しなどの規定が盛り込まれることになる。

2.1.2　省エネルギー・リサイクル支援法

正式には，「エネルギー等の使用の合理化及び再生資源の利用に関する事業活動の促進に関する臨時措置法」であり，1993年に施行された10年間の時限立法である。

主旨は，エネルギーの使用の合理化や再生資源の利用などの事業活動に自主的に取り組む事業者を支援するために，①超低利融資，②産業基盤整備基金による債務保証，③課税の特例，などの助成措置が講じられている。

2.1.3　省エネルギーの普及広報

（財）省エネルギーセンターを中心に，適正な冷暖房温度設定などの夏季・冬季省エネルギー対策や省エネルギー

図４　電力設備用機器の外観

アクティブフィルタ　　自動力率調整器　　デマンドコントローラ

診断サービスの実施などの国民的普及広報活動が推進されている。

2.1.4　先導的省エネルギーモデル事業

1998年度新規に設けられた事業である。1998年度は，「総合的な省エネルギーの取組みで先進性があり，波及効果の高い」事業を対象に，10億円が予算化され，事業補助率は1/3である。

2.2　省エネルギー機器と水処理施設への導入

水処理施設の省エネルギーを考えるとき，省エネルギー機器に関する項目と，省エネルギー制御に関する項目とに大別できる。ここでは，水処理施設に有効な省エネルギー機器を**表１**（**図４，５，７，８**）に紹介する。

省エネルギー問題に取り組むとき，過去に種々の改善策がとられてきたため，現在では省エネルギー機器導入などの単独策では効果が少ないことから，省エネルギー制御を含めた複数の施策の積み重ねが大きな省エネルギー効果を生み出す。したがって，**表１**に示す各種施策を広く適用することが重要である。

3　省エネルギー制御システムと水処理施設への導入

水処理施設で消費する電力のうち，上水道においては取水，配水ポンプ（電力使用量の約88%），下水道においては汚水ポンプ，送風機（電力使用量の約70%）の占める割合が大きい。したがって，水処理施設においては，ポンプ，送風機動力に着目した省エネルギー対策が効果的である。

ポンプ，送風機の省エネルギー対策で，最も効果が大きい方法が可変速運転であり，以下，可変速の導入方法と省エネルギー効果の関係および最新の可変速制御方式を紹介する。

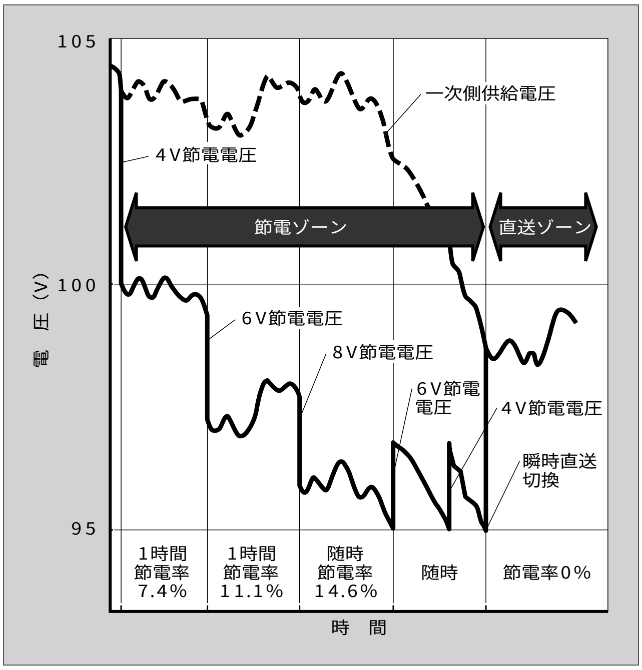
3.1　可変速と省エネルギー

ポンプの例では，計画最大流量と計画最大揚程をもとに

表１　水処理施設における主な省エネルギー電気機器一覧

区分	機器名称	概　要	用　途	効　果	その他
電力設備	アクティブフィルタ	○高調波による電気機器の過熱，異音，振動などの悪影響や損失抑制 ○無効電力の補償	○可変速制御装置，無停電電源装置，整流器などの高調波発生機器	○高調波による過電流抑制 ○力率改善による電力料金低減	（**図４**） 高調波抑制対策ガイドラインの適用範囲 ＜受電電圧＞　＜高調波機器合計＞ 6.6kV　：　50kVA 超過 22kV　：　300kVA 超過 66kV　：　2,000kVA 超過
電力設備	デマンドコントローラ	○契約電力の監視制御	○受電点電力量デマンド	○契約電力低減 ○契約電力超過防止	（**図４**）
電力設備	自動力率調節器	○無効電流による抵抗損の抑制	○変圧器励磁保障 ○誘導電動機	○電力料金低減 ○電力損失低減	（**図４**） ○電圧降下の低減や設備容量の利用率の増加効果もある。
電力設備	モールド変圧器	○鉄心材料およびモールド技術による損失の大幅な低減	○受変電設備，動力設備，照明設備	○従来の乾式に対し無負荷損約2/3，負荷損を1/2から2/3に低減	○台数切換運用 ○最高効率点での運用
ポンプ動力設備	可変速制御装置VVVF	○周波数と電圧を変化させ高効率運転を実現	○汎用として0.2kWから900kWのかご形誘導電動機	○70%速度にて約65%低減	（**図７，図８**）
ポンプ動力設備	サイリスタセルビウス	○二次滑り電力を電源へ返還させ高効率運転を実現	○100kWから5,000kW程度の巻線形誘導電動機	○70%速度にて約65%低減	（**図７，図８**）
ポンプ動力設備	高効率電動機	○最新設計と低損失材料の使用により高効率を達成	○誘導電動機	○軽負荷（50%以上）での高効率維持	
照明設備	節電装置	○過剰電圧を適正電圧に抑え余剰電力分を節電	○低圧動力照明設備	○使用電力を10%から20%低減	（**図５**） ○機器の延命効果も期待できる。
その他	待機電力削減	○国際エネルギースタープログラムにより省エネルギー機器にロゴマークを与える。	○コンピュータ，ディスプレイ装置，プリンタ，ファクシミリ，複写機	○ほとんどのOA機器に普及	ロゴマーク

図５　節電・直送切換タイムチャート



定格を決めて製作されるため，日常の運用は，定格を下回った運転となるのが一般的である。

図６に示すように，定格運転点（A 点）に対し，固定速で運転水量を送水すると，運転点は B 点になり，管路に不必要な圧力を与えて到達圧力の上昇を招き，出口の噴流によってエネルギーが消費されることになる。これに対し，可変速で適正な運転点 C で運転すれば，面積 BCDE に相当するエネルギーが節約できる。よって，可変速制御導入により，余分なエネルギーを消費せずに損失の少ない効率的な運転が可能となる。

3.2　最近の可変速制御装置

上下水道施設では，ほとんど誘導電動機が使用される。誘導電動機の可変速制御方式は，二次抵抗制御，一次周波数制御（VVVF ： Variable Voltage Variable Frequency），二次励磁制御（セルビウス）である。二次抵抗制御方式は，抵抗による損失が大きいため省エネルギーにならず，VVVF とセルビウス方式が，省エネルギー効果がある。

VVVF とセルビウスは，いずれも半導体変換装置であり，従来，高価で高調波対策が必要であることが導入の妨げになっていたが，最近は，半導体（特に IGBT ： Insulated Gate Bipolar Transistor）の発達により安価で，**表２**に示すように高調波抑制と力率改善を同時に対策した装置となっている。

以下に，最近の VVVF とセルビウス装置の特徴を紹介する。

(1)　高調波レス PWM コンバータ付 VVVF

図７に PWM コンバータ方式インバータシステムを示す。整流器で正弦波 PWM 制御を行って，高調波レスで力率を１としている。

本装置は，高調波抑制ガイドラインで，「高調波発生がない装置」に認定されているため，本装置を用いれば別の高調波対策は必要ない。

(2)　高調波レス PWM セルビウス

図６　可変速電動機による省エネルギー効果

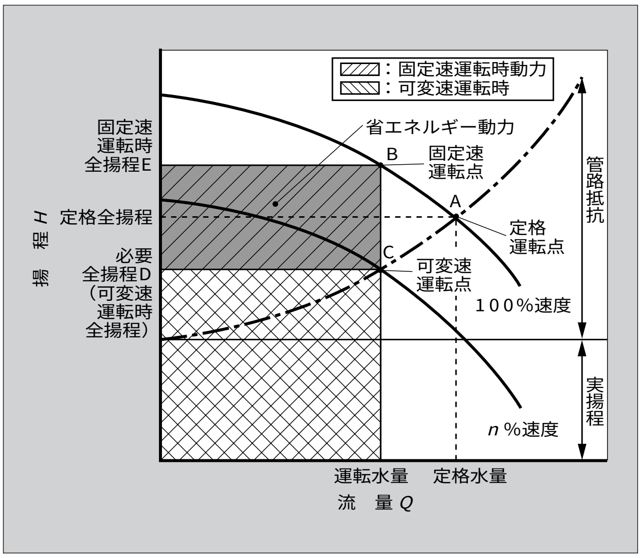


表２　可変速制御装置の特性

制御方式 ＼ 項　目	VVVF		セルビウス	
	従来形 VVVF	高調波レス VVVF	従来形 セルビウス	高調波レス セルビウス
適用容量（kW）	0.2〜900	0.2〜900	100〜5,000	100〜5,000
総合効率（%）	70〜80	75〜85	80〜90	80〜90
制御範囲（%）	10〜100	10〜100	60〜100	60〜100
力率（%）	80	約100	60	約100
高調波対策	要	不要	要	不要

図８に PWM インバータ方式によるセルビウスシステムを示す。従来のサイリスタインバータの代わりに PWM インバータを用いて力率をほぼ１に制御し，高調波の発生電流も５%以下に抑制できる。

本装置は，高圧の既設巻線形電動機の高調波レス省エネルギー運転用に適用できる。

3.3　省エネルギー制御方式

3.3.1　ポンプ高効率台数制御システム

一般にポンプの運転は，流量や水位の増加・減少に対して台数制御と可変速制御を組み合わせて行い，省エネルギーが図られている。その効果は，20%程度である。

ここでは，さらに省エネルギー効果を上げるための方法として，台数切換の決定要素に揚程を用いたポンプ高効率台数制御システムを紹介する。

いま流量 Q，揚程 H を送水するために m 台のポンプにて運転したときの電力 P_m を演算により求め，$m+1$ 台および $m-1$ 台が運転している場合の各電力と比較し，その小さい方をポンプの運転台数とすれば，最も省電力が図られる運用となる。具体的には，**図９**に示すようにあらかじめ理想的なポンプの運転台数の領域を設定しておき，その領域と比較してポンプの台数を制御する。

図７　高調波レス PWM コンバータ付 VVVF 回路構成

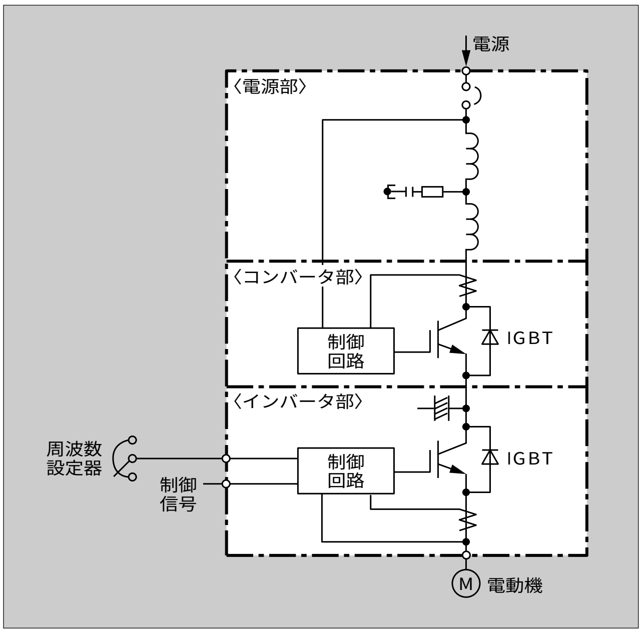
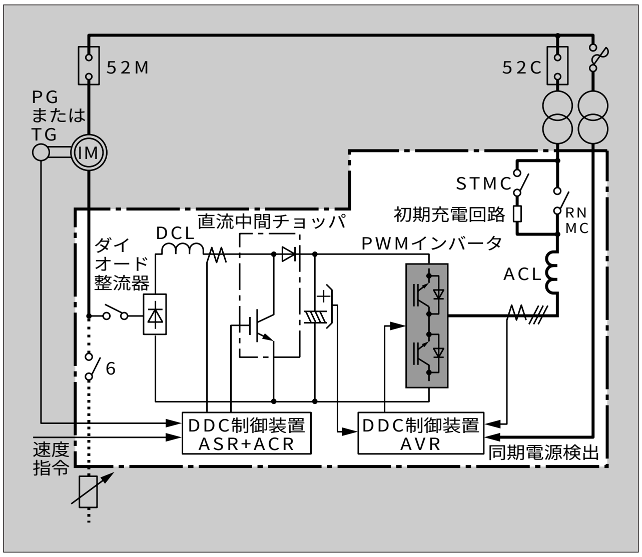


図８　高調波レス PWM セルビウス回路構成



本方式の採用により，約 3,000 kW のポンプが稼動している浄水場では，従来の台数制御方式に対して２%以上の削減効果があった。

3.3.2　運用計画によるポンプ運転の均一化

需要予測により送水量の計画を立てることができれば，送水量を平準化したり，ポンプ台数の変更回数を最小化することができ，送水ポンプの運転を効率的に行うことが可能となる。

送水計画を立てるために動的計画（ダイナミックプログラミング：DP）法を用いたポンプ高効率運転制御の効果の例を**図10**に示す。数日間の配水パターンがかなり異なっているにもかかわらず，ポンプの切換回数は日平均３回という少ない回数で済んでいる。

本方式の採用により，従来の配水池水位の台数切換に対して約１%以上の削減効果が見込まれる。

図９　理想的なポンプ高効率台数運転領域

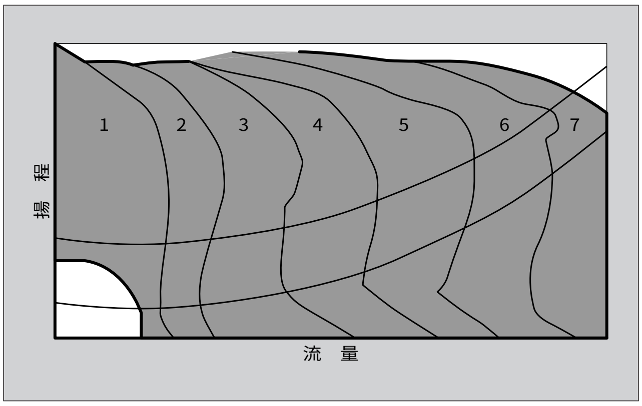


図10　DP 法による配水池運用

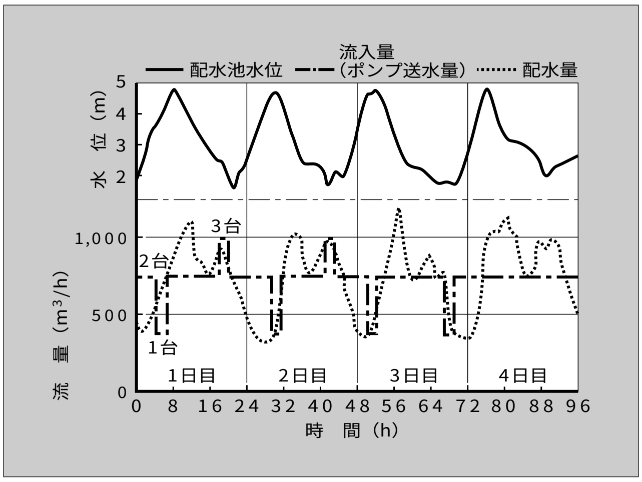


図11　浄水場全体の日負荷カーブ例

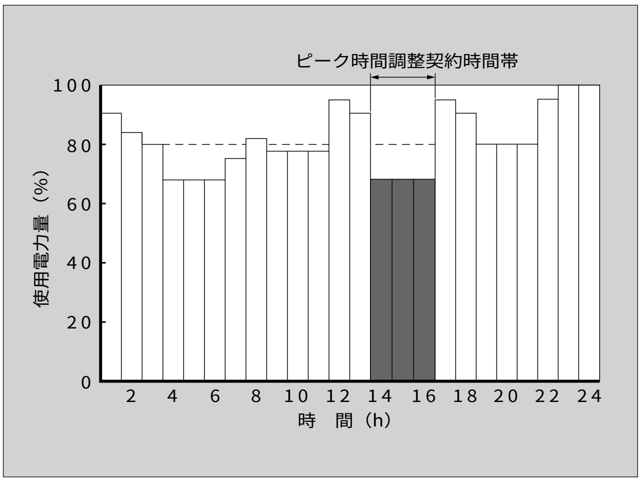
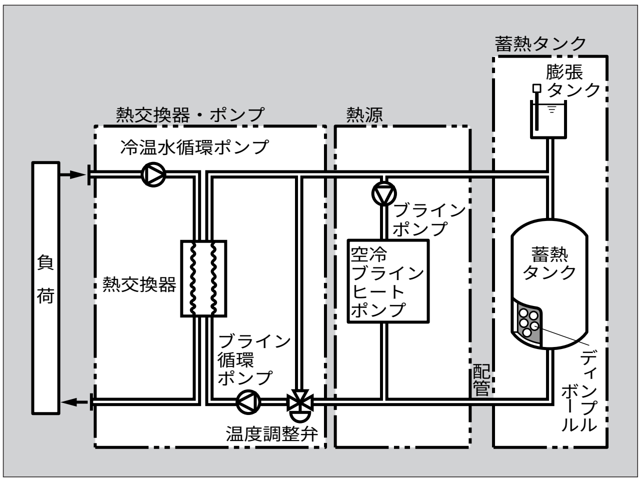


図12　ディンプルボール氷蓄熱システム



4　ピークカット制御

電気設備は，最大負荷（ピーク）を賄える設備容量とする必要がある。これに対しピークをシフト（電気使用の平準化）することや，電気エネルギーを熱エネルギーの形で蓄えピーク時に使用することにより設備容量や電力料金の低減が可能となる。

4.1　ピーク時間調整契約

電力会社の電力需要ひっ迫時に，需要家がある期間負荷調整に協力した場合，料金の割引が適用される契約がある。

水処理施設では，浄水場，配水池，給水所の貯水能力を利用した送水ポンプの運転制御を行う場合などに適用できる。

調整時間帯においては，一部の取水や送水を削減あるいは停止し，それ以外の時間帯に運転シフトを行う。このような運用により，施設全体の使用電力量を均等化し，電気料金が低減できる。

図11は，調整期間中（6 ～ 9 月，13～16時）の日負荷カーブの例である。

契約電力が約 4,000 kW で約 400 万円/月の電気料金割引効果がある。

4.2　その他夜間電力利用など

最大電力を抑制し電気を均等に使用するには，昼間のピーク分を夜間にシフトし，その分を夜間電力（料金は通常の約 1/4，CO_2 排出量は昼間の約 8 割）にて蓄熱を行う。

ここでは，ディンプルボール氷蓄熱システム（**図12**）を紹介する。

ディンプルボール氷蓄熱システムは，8 か所のくぼみ（ディンプル）を有した形状のカプセルに水を封入したディンプルボールを蓄熱槽に設置し，ブラインを介して蓄熱と放熱を行う。

ディンプルボール氷蓄熱システムは，①氷結・溶解時とも冷却面積がほぼ一定で安定した蓄熱・放熱特性が得られる，②ディンプルボールの氷結・溶解に伴う体積変化によりブラインレベルが変化するので蓄熱量が確実に把握できる，③タンクの設置とディンプルボールの投入で簡単に蓄熱槽の施工ができる，④配管が閉鎖系でブラインの管理のみで保守が容易である，といった特徴がある。

5　あとがき

以上，水処理施設における省エネルギー技術とその導入例について紹介した。これからは，国民一人一人が省エネルギーに努力することがきわめて重要であるとされており，公共施設である水処理施設は，率先して省エネルギーに取り組み，施設自体での実質的な効果を上げるとともに，普及広報の役割を果たす使命がある。

今後とも，省エネルギー技術の開発を進め水処理施設へ提供するとともに，エネルギー問題に積極的に取り組む所存である。

参考文献

(1)　通商産業省編：エネルギー '97（エネルギー白書），電力新報社（1997）

(2)　資源エネルギー庁省エネルギー石油代替エネルギー対策課監修：省エネルギー便覧 97 年版，省エネルギーセンター（1997）

(3)　通商産業省資源エネルギー庁編：エネルギー未来からの警鐘，通商産業調査会（1997）

(4)　公共施設研究会：公共施設における新・省エネルギー技術（1998-1）

最近登録になった富士出願

〔特　　許〕

登録番号	名　　称	発明者
2729716	誘導加熱式ロースター	松永　哲夫
2730262	半導体素子の製造方法	安部　浩司
2730263	カード式自動販売機の制御装置	吉富喜一郎
2730270	磁気記録媒体およびその潤滑剤層の潤滑剤配向度評価法	小野寺克己 鄭　　用一
2730274	自動販売機の収納室内照明装置	小田　威夫
2730278	自動販売機の冷凍機制御装置	海野　　覚
2730279	尾端定位置停止制御装置	高橋　孝一 伊藤　伸一 中村　一夫
2730996	日本語文書の接触文字の切出し方法	小倉　一郎 本郷　保夫
2731047	プログラムのオペランドチェック方式	小堀　隆哉
2731540	可動電極のサイド短絡防止方法	岡崎　金造
2733401	回路用金属基板	中嶋　幸男 今村　一彦 唐津　了三
2734067	コイル用電源の制御装置	江口　直也
2734070	インバータ駆動電動機の可聴電磁音低減方法	米澤　裕之
2734108	電磁調理器の加熱出力表示装置	松永　哲夫
2734171	超電動磁石装置の電流リード	滝田　　清 時光冨士雄 永友　寿美

登録番号	名　　称	発明者
2734182	トンネル集じん装置	中村　彰吾 笹本　利治 蓑輪　義弘
2734189	光学センサ素子およびその製造方法	梅垣　　卓
2734190	回転機械用油の加熱方法及びその装置	浜　　清彦
2734197	気相成長装置	仙頭　敏彦 石原　　昭
2734632	燃料電池用電極基材の清掃装置	柳澤　三郎
2734751	ディジタル形反限時リレー	宮田　三史
2734758	直流電源装置	鯉江　和裕
2734764	直流電源装置	八田　恭典 五十嵐征輝
2734768	固体電解質型燃料電池の製造方法	吉田　静安 清水　一志
2734816	スナバコンデンサ一体形トランジスタ部品	岡田　幸義
2735084	蒸気タービン設備の非常用潤滑油給油装置	大薗　純一 川上　和昭
2736057	プログラマブルコントローラの動作状態監視装置	石橋　景二
2736060	自動順序制御装置	赤松　和彦
2736156	周波数変調モデムの復調自動調整装置	新井　健司
2737262	回生電力放電用トランジスタの制御方法	加藤　行夫
2737311	インバータの電圧制御回路	黒木　一男 加護谷隆己
2737333	単独・連系運転用インバータの制御回路	江口　直也 八田　恭典

危機管理に向けた上下水道の防災技術

蓮本　了遠（はすもと　りょうおん）　**宮本　章広**（みやもと　あきひろ）　**末田　誠**（すえた　まこと）

1　まえがき

阪神・淡路大震災の教訓を生かした震災対策の具体化や気候変動枠組み条約第３回締約国会議（地球温暖化防止京都会議）など地球環境問題が，昨今，急速にクローズアップされてきている。上下水道事業においても水環境やライフラインの中核を担うという立場から，このような災害やリスクに対応した防災計画の見直しが求められている。

本稿では，上下水道における災害やリスクに対して，電源，センサ，情報通信制御の三つの側面から，長年の経験に基づくノウハウに最新技術を組み合わせることにより，「どんな問題をどのように解決することができるのか」（ソリューション技術）ということを事例を中心に紹介する。

2　上下水道における災害要因とソリューション技術

上下水道における災害とは，上下水道の使命である水量（上水：安定給水，下水：浸水対策）と水質（上水：安全な水の供給，下水：水質の保全）を脅かすものということができる。**図１**は上下水道における災害要因を整理したものである。災害のなかで水量と水質の両面で最も大きなリスクは，阪神・淡路大震災級の大地震である。また，今問題のダイオキシンやシアン，サリンといった毒物の混入もきわめて高いリスク要因である。しかしながら，災害対策という観点で考えると，地震や毒物混入などは事前に予測できないものであり，そのような事態に直面したときに「どのように判断し，どのように行動することができるのか」が重要であり，その人間の判断や行動を支援するシステムが防災システムである。そのためには，「日常使い慣れていないシステムは，緊急時に速やかに使用することは難しい」といわれるように，平常時の使用を大前提とし，日常ときどき起こり得る事故などの比較的リスクの小さな問題に対しての防災対策が基本であり，その延長線上に地震や毒物混入などの高リスク対応があると考えるべきである[(1)(2)]。

図２は災害対応の考え方を，「平常時から災害発生時の緊急対応とその後の復旧対応，そしてその教訓を生かしたさらなる災害対策の見直し」という災害対応のサイクルと

図１　災害とリスク度合

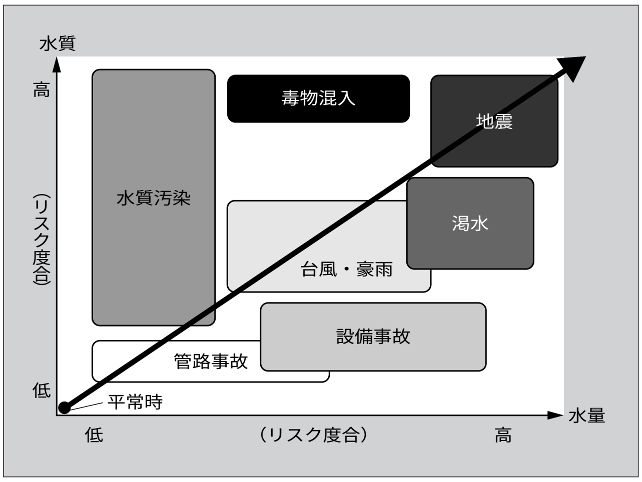
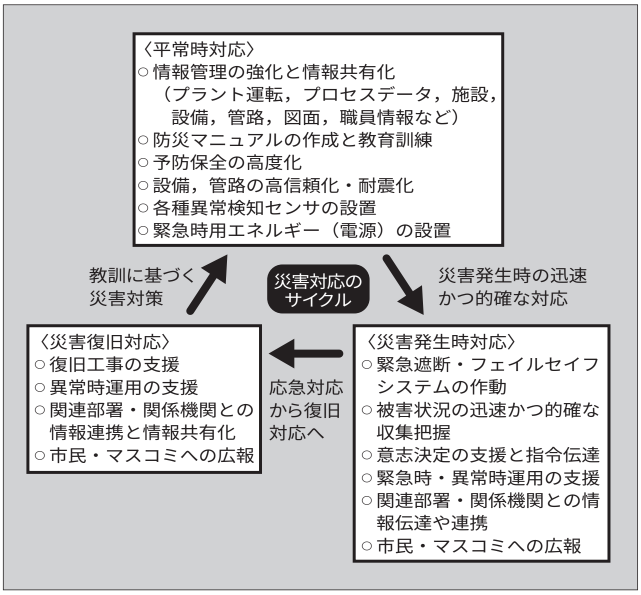


図２　災害対応の考え方



蓮本　了遠

上下水道用電気・計装・監視制御システムの計画，設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部関西技術部課長。

宮本　章広

知的情報処理システムの開発に従事。現在，システム本部第一システム統括部水処理システム部。

末田　誠

上下水道用情報処理システムの設計，開発に従事。現在，システム本部第一システム統括部水処理システム部。

表１　上下水道における災害要因とソリューション技術

災害（リスク）要因		センサ技術	電源技術	情報通信制御技術		
				平常時	緊急時（発生時）	復旧時
自然環境	地震	地震計	電源の高信頼度化対策 （二重化・無停電化・非常用電源） 新エネルギー （太陽光・小水力発電）	教育訓練 情報共有化 予防保全	情報収集，被害推定，意志決定，緊急遮断，異常時水運用，緊急情報通信，情報提供	異常時水運用 施設情報管理 管路情報管理 情報共有化
	渇水	圧力モニタ		教育訓練 情報共有化	情報収集，配水コントロール，異常時水運用，情報提供	
	台風・豪雨	雨量レーダ	電源の高信頼度化対策 （二重化・無停電化・非常用電源）	降雨予測 情報共有化	情報収集，降雨予測，浸水解析，情報提供	
	落雷		電源の落雷対策		情報収集，情報提供	
社会環境	水質汚濁	河川水質モニタ 給水水質モニタ		水質管理 情報共有化	情報収集，水質拡散解析，異常時水運用，情報提供	
	微生物問題 トリハロメタン問題	高感度濁度計 微粒子センサ トリハロメタン計		水質管理 情報共有化 最適薬注制御	情報収集，情報提供	
	毒物混入	水質安全モニタ		水質管理 侵入者監視 情報共有化	情報収集，異常時水運用，情報提供	
	火災	給水水質モニタ 圧力モニタ			情報収集，赤水拡散解析，情報提供	
	設備事故	各種センサ	電源の高信頼度化対策	インテリジェント異常監視，施設情報管理，予防保全，情報共有化	情報収集，異常時水運用，情報提供	施設情報管理 情報共有化
	管路事故	圧力モニタ		管路情報管理 情報共有化	情報収集，異常時水運用，情報提供	管路情報管理 管網計算 情報共有化

図３　回転機診断車の外観

N89-6542-7

してまとめた。次に，上下水道における具体的な災害要因とそれを解決するソリューション技術を**表１**に示す。

次章からは，ソリューション技術を「センサ技術」「電源技術」「情報通信制御技術」に分けて詳細に述べる。

3　センサ技術

センサとは人間の五感に相当するものであり，災害情報を検出し把握するための最も重要な情報源である。富士電機は，水質・環境災害に対応するセンサからプラントや電源システムの異常を検出する予防保全のセンサまで，上下水道に必要なセンサ群をバイオ技術など最先端技術を駆使してトータル的に開発を進めている。

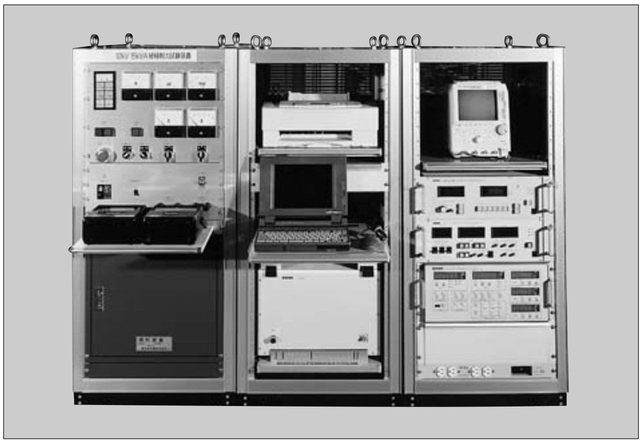
まず水質・環境センサとしては，水道水源の安全性を連続監視する「水質安全モニタ」やクリプトスポリジウムなどの微生物を検知する「高感度濁度計」がその代表であり，新たな水質問題や水環境保全のための次世代センサ群についても研究中である[(3)]。詳細は本特集号の別稿「突発性水質事故とセンサ技術」を参照いただきたい。

また，予防保全のためのセンサ群のなかから受変電設備（変圧器，ガス絶縁機器，配電盤など）や回転機の異常診断や余寿命診断装置を紹介する。受変電設備診断では，赤外線による局部加熱測定や騒音・振動計による内部異常検出，絶縁性能測定などのデータをもとにパーソナルコンピュータ（パソコン）にて総合的に判断し，回転機診断では，電気的絶縁診断（吸湿，汚損，劣化）に加えて物理化学的絶縁劣化診断などからパソコンにて信頼性法評価法を用いて総合評価を行うものである。それぞれ巡回診断車に搭載して全国巡回点検に活躍しており，**図３**に回転機診断車を，**図４**に診断装置の外観を示す[(4)]。

4　電源技術

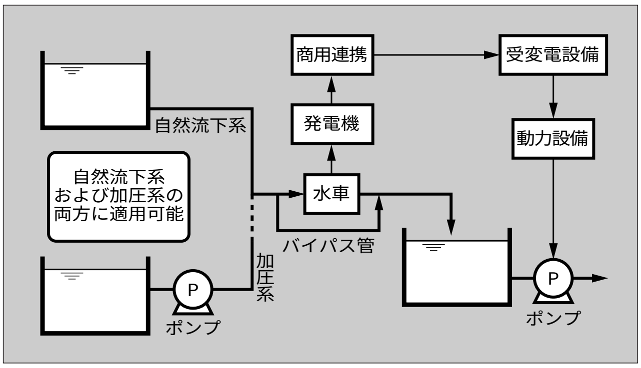
電源（エネルギー）とは人間の体（力）に相当するものであり，上下水道がその機能を発揮するために必要不可欠なものである。富士電機では，低圧から特別高圧までの受変電設備や自家用発電機，無停電電源装置，可変速制御装置などの上下水道ではすでに一般的な電気設備から，新エネルギー・クリーンエネルギーと言われる太陽光発電・小水力発電・燃料電池発電など電源に関する数多くのソリュー

図４　診断装置の外観



N89-6541-2

図５　小水力発電概略図



ションを提供することができる。

そのなかで昨今，国の補助金制度もあり太陽光発電が注目されている。一般的には採算性や設置スペースに問題があるが，浄水場や配水池（震災時には避難場所や応急給水場所になる）など広大な設置場所が確保でき，かつ緊急時の電源確保という付加価値（採算性がすべてではない）から導入の検討が進められている。

また，上下水道プラントにおいては，災害時用のエネルギーとして太陽光発電とともに小水力発電も有望である。**図５**にその概略構成を示すが，小水力発電は水の落差やポンプによる余剰圧力を利用して水力発電を行うものであり，エネルギーの有効利用（省エネルギー）という観点からも推奨できるものである[(5)]。水力発電量は次の式で求めることができ，その目安を以下に記す。

発電量（kW）＝ 9.8 × Q × H ×水車効率×発電機効率

○ 流量 1.0 m^3/s，落差 60 m で約 500 kW

○ 流量 1.0 m^3/s，落差 25 m で約 200 kW

このように，水道の導水管や受水管などではかなりの発電量が期待でき，この電力は商用電源と連携し自施設内でポンプなどの非常用電源として利用できるほか，電力規制緩和の一環として電力会社の送電線を通して，別の施設に電源を送ってそこで使用するという「自己託送サービス」（現在は電圧20 kV 以上，電力 500 kW 以上）を利用したり，電力会社に販売することも可能である。新エネルギーや省エネルギーは本特集号の別稿「水処理施設における新エネルギー技術」および「水処理施設における省エネルギー技術」を参照いただきたい。

5　情報通信制御技術

情報通信制御は人間の頭脳と神経系統に相当するものであり，災害などの緊急時にパニックにならないよう日ごろからの訓練が重要である。富士電機は，上下水道における情報通信制御システムの豊富な納入実績と水運用や水環境に関する最先端の研究開発により，「水のにおいのする防災情報通信制御システム」を提供する。

5.1　緊急時対応のための災害対策本部の役割

緊急時に水道対策本部は，混乱する情報のなかで，迅速かつ的確な決定を支援し，関係部署や外部に速やかに指令や情報を伝達しなければならない。しかしながら，災害時には，指令や情報を伝達するための通信ラインを確保すること自体が困難である。また，関係者が対策本部へ移動するにも道路渋滞のため，平常時の何倍もの時間を要し，対応が遅れるケースが予想される。そこで，ライフラインとしてのその使命（水の供給や処理）を重視して対策本部はその情報が集約している水運用管理センターや下水道管理センターと同一ロケーションに設置することを提案する（場所は本庁内や浄水場・処理場内）。こうすれば「平常時には本来の水運用管理を行いながら災害などの緊急時には災害対策本部の機能を付加する」という効率的なシステム構築が可能となる。災害対策本部機能を付加した管理センターに必須（ひっす）の技術を以下に述べる。

(1)　高信頼度通信網：無線や光ファイバケーブル網など高信頼度かつ高速大容量の通信路が必要。特に無線の電波割当て取得が困難な状況のなかで，下水道や水道管路に埋設した光ケーブルの活用が有効。

(2)　テレビ会議システム：緊急時には人の移動が困難であり，指令伝達にテレビ会議が有効。

(3)　大形マルチスクリーン：錯綜（さくそう）する複数情報のマルチ画面表示や他人数での一目監視や情報の共有が必須。

(4)　地図＋ GPS（Grobal Positioning System ：人工衛星を利用した位置特定システム）利用技術：市内地図と管路図を重ね合わせた地図上に給水車や工事車両などの位置を表示。

(5)　シミュレーション技術：緊急時の運用や意志決定を支援。平常時は教育訓練に使用。

さらに環境（エルゴノミクス）という視点から考察すると，「迅速かつ的確な意志決定が可能で，コミュニケーションがいかにスムーズに行える環境を構築できるか」が重要である。そのためには，監視室のそばに情報収集と整理のための空間と，意思決定とコミュニケーションのための空間（災害対策本部）の設置を提案する。具体的には**図６**のように監視室を俯瞰（ふかん）するような位置に対策本部

図６　対策本部のイメージ図

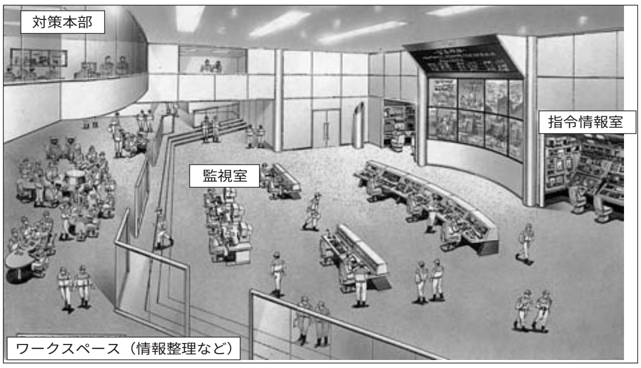
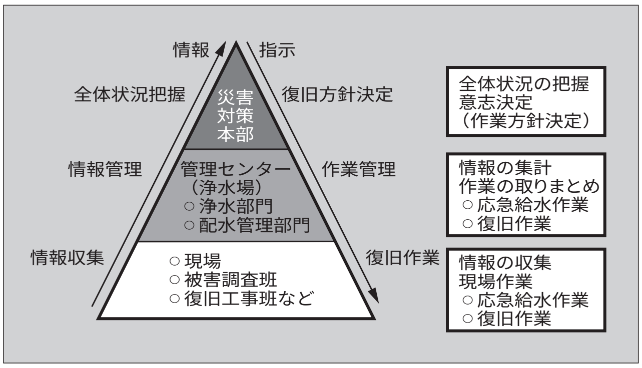


図７　災害時の情報の流れ



を設置し，監視室に集まるさまざまな情報を眺めながら重要決定を行うようにする。俯瞰する位置にある意味は，次のとおりである。

(1)　混乱するなか，同じ情報でも目線を変えて俯瞰する位置から見ると，物事を冷静に捉えることができる。

(2)　閉鎖されることによって集中力を高め，最適な判断を下せる環境を構築する。

俯瞰できるこのスペースは，平常時には見学者対応や教育・講習などの多目的スペースとして活用する。このように災害対策本部は，水運用監視室のそばに設置することにより，平常時の延長線上に緊急時対応を考えることができ，未使用時は多目的に活用することが可能となる。

5.2　情報通信制御システム

5.2.1　情報共有化システム

(1)　情報通信の現状の問題点とその対応策

図７は水道における「災害時の情報の流れ」を示す。[6]

災害時における管理センターの重要業務は次の２点である。

(a)　現場情報の収集・災害対策本部への情報提供

(b)　災害対策本部の復旧方針に基づく水運用管理

現状では，部門間の情報伝達手段に電話・ファクシミリが使用されており，災害時など混乱下での使用に不安が残る。そこで，耐災害性が高く高速・大容量の専用通信網（専用回線・無線・自営光ファイバ網など）を前提とした情報通信システムの構築が必要である。特に，災害時における情報不一致による混乱や錯綜を避けるための「情報共有化」が重要である。情報共有化システムは，水運用や監視制御情報をはじめとして各部門の業務情報や対策本部の指示命令までさまざまな情報を各部門で瞬時に把握することを可能とする。

(2)　情報共有化システムの特長

情報共有化システムの概要を**図８**に示す。

情報共有化システムで重要なことは，端末の機種や台数に制約を設けないことである。災害時には，容易に端末が増設でき簡単な操作でだれでも利用できるシステムが必要である。本システムは，インターネット・イントラネット技術（Web 化）を利用し，「必要な情報を！必要なときに！必要な場所に！」提供することを実現した。本システムの特長は次のとおりである。

(a)　端末側に専用のソフトウェアは一切不要

(b)　既存の情報システムに簡単に接続することが可能

(c)　リアルタイムに情報更新が可能

(d)　利用者の職務に応じたセキュリティ管理が可能

(e)　情報共有サーバは単独設置にとらわれず他サーバとの兼用も可能

5.2.2　携帯情報端末

パソコンの小形化や移動体通信の普及に伴い，携帯形情報端末がさまざまな分野で活用されており，災害時に携帯電話や無線に代わる情報通信手段として期待できる。その主な利用用途を以下に記す。

(a)　現場携帯端末としての利用

作業現場にてセンター情報を入手したり，作業状況や現場映像をセンターに報告する。

(b)　巡回点検端末としての利用

設備の巡回点検に持参し，点検報告書を自動作成したり，センターに結果を伝送する。

(c)　車載端末としての利用

情報端末としての機能に加えて GPS と連携して現在位置を地図上に表示する。また，本位置情報を管理センターに伝送し，大形スクリーンに作業車や給水車の位置を表示することも可能である。

5.2.3　侵入者監視システム

公共性の高い施設では，不測の事態を防止するために外部からの侵入者を監視し，「事故の回避」「危険の予知」が必要である。しかし，従来の ITV による監視（通信回線の都合上静止画伝送が多い）では監視員の負担が大きく見落としなどの危険性があり，侵入センサによる監視システムでは誤報が多いなどの問題があった。そこで，それらの問題を解決したパソコン画像解析による侵入者監視システムを紹介する。

図９に侵入者監視システムの構成を示す。

侵入者監視システムは，監視カメラ，侵入者監視装置（パソコン），監視画像記録再生装置などで構成される。侵入者監視の判定には，追跡形アルゴリズムを採用することで照明の変化や小動物による誤報を防止し，監視員の負担を軽減することが可能となる。本システムの特長を以下に記す。

図８　情報共有化の概要

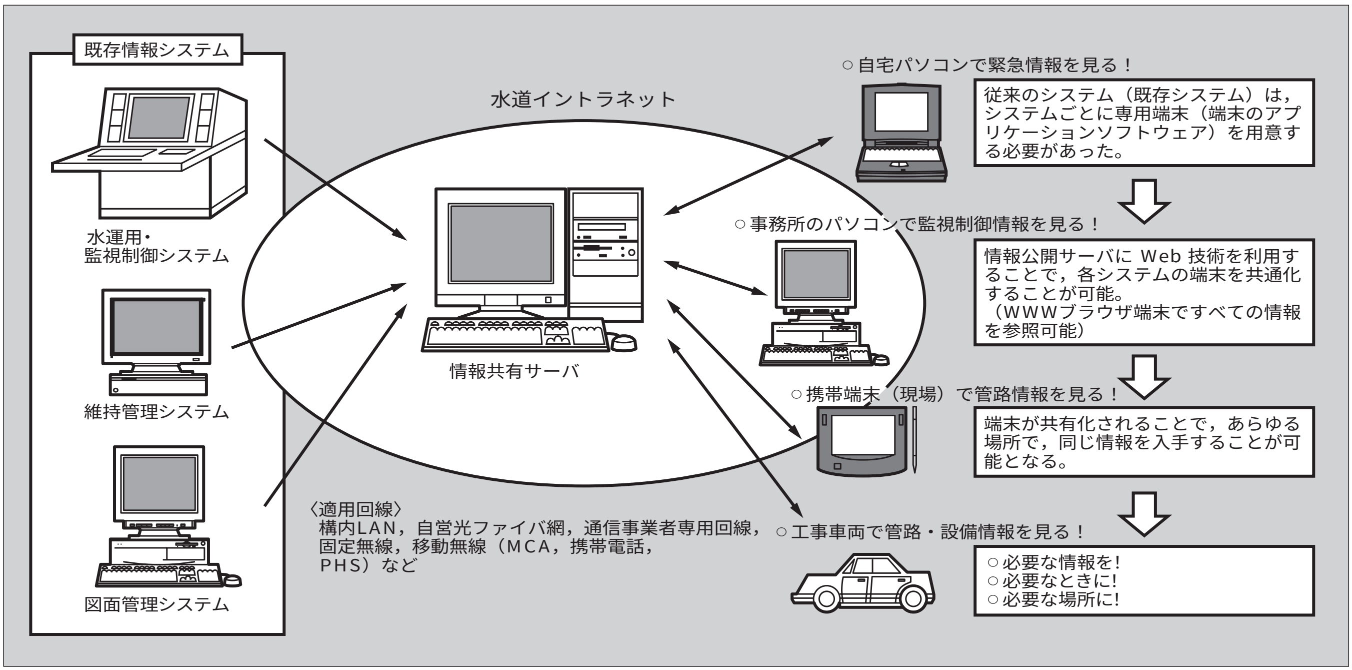


図９　侵入者監視システムの構成

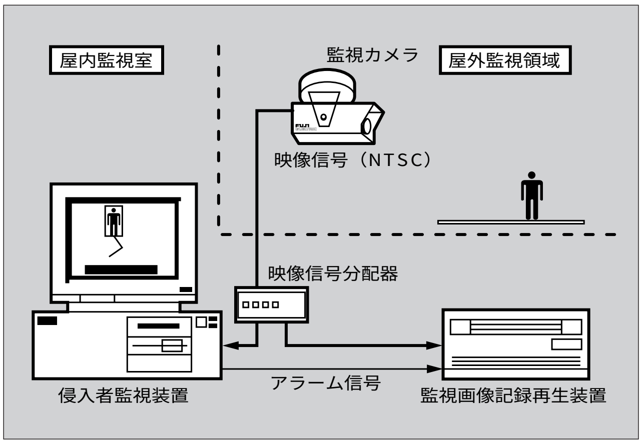


図10　マルチメディア伝送装置の外観

(a)　特定動作の検知が可能

(b)　環境変動に対する頑健性の確保

(c)　実空間特徴量を用いた物体抽出・追跡の実現

また，画像信号を含めた場外機場との通信装置としてマルチメディア伝送装置（FTDM）を開発した。本装置は，データ（監視制御用）だけでなく，画像（準動画：３画面/秒）や音声（交換機と接続して構内電話としての使用も可能）を多重して伝送するものである。適用回線としては，ディジタルアクセス128（専用線）またはINS64が１回線であり非常に経済的である。

FTDMの外観を**図10**に示す。

5.3　災害対応シミュレーション技術

災害などの緊急時には，オペレータに精神的・肉体的に多大な負荷がかかる。このような状況下で迅速かつ適切な対応をするためには，シミュレーション技術などを用いた運用支援システムが求められる。富士電機では，各種シミュレーションソフトウェアを製品化しており，そのなかで下水の浸水対策としての降雨予測シミュレーションと上水の赤水拡散シミュレーションを紹介する。

5.3.1　降雨予測シミュレーション

下水道の分野でのレーダ雨量計の実用化が大都市を中心に進み，処理場やポンプ運用支援から雨水流入予測によるポンプ運転計画への適用などが進められている。本降雨予測シミュレーションはレーダエコー降雨強度の移動予測を移流モデルにより行うものであり，災害対策用システムである。

下水道分野における降雨予測の特徴は，対象範囲は比較的狭いが，精度の高い予測が求められている点にある。しかも，台風・梅雨など種々の降雨によりその予測精度は異なり，次のような現象を記述できる予測モデルが重要となる。

(a)　一つの雨域内でも移動方向が異なる。

(b)　雨域により降雨強度や形状変化，発生消滅の度合いが異なる。

(c)　降雨強度の変化は地形の影響を受ける。

そこで，本降雨予測シミュレーションでは，降雨予測単位（2.5 km × 2.5 km メッシュなど）ごとに降雨移動方向を求めることのできる移流モデルを採用し，降雨予測精度の向上を図っている。移流モデルでは，移流方程式のパラメータを観測時間の異なる複数の受信降雨強度データを用いて同定し，移流ベクトル（u，v）と雨域の成長・減衰（w）をメッシュごとに求めることができる。**図11**にその例を示す。現在と10分前の降雨実績データから求めた移流ベクトルを，図中下側の移流モデルによる降雨データ（予測）の左側に示す。メッシュ内の矢印が移流ベクトルを示し，矢印の方向が移動方向を，矢印の長さが移動速度を表している。求められた移流ベクトルと，現在の実績データから10分先，20分先のシミュレーション結果をその右側に示す。

図11　降雨予測の表示例

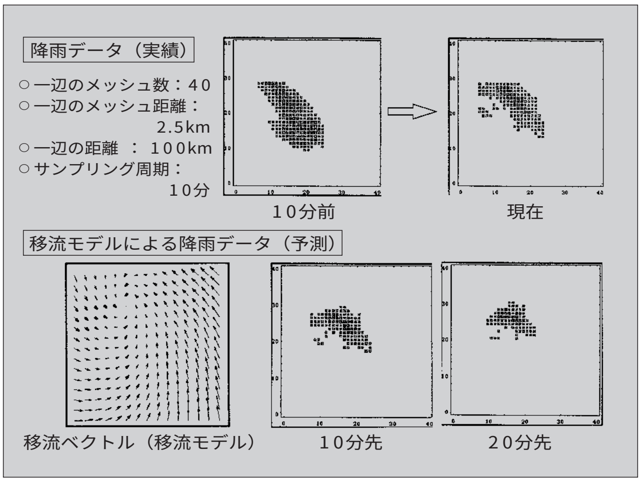


図12　赤水拡散シミュレーションの構成

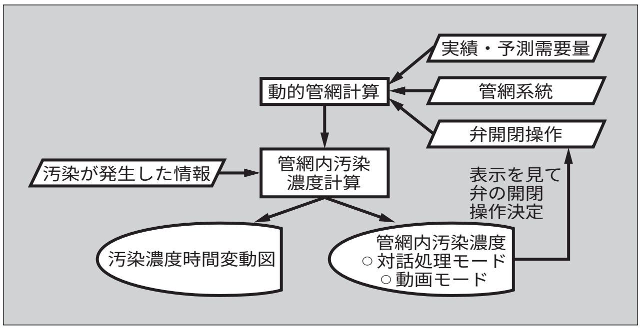
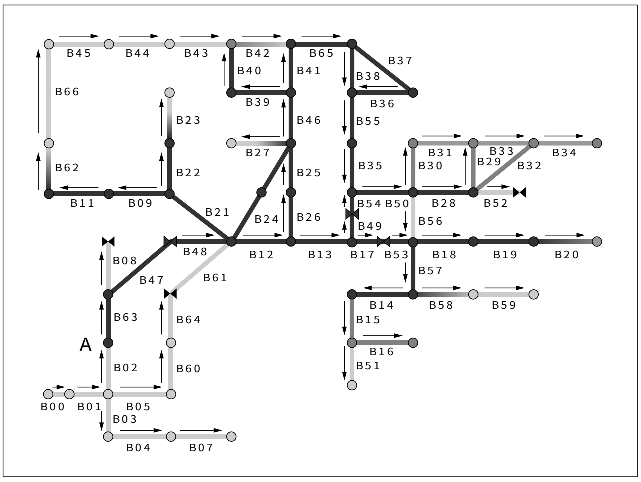


図13　赤水拡散状況の表示例



5.3.2　赤水拡散シミュレーション

水質コントロールを行ううえで，水質の挙動（とりわけ複雑な管網内での挙動）の把握が重要であり，シミュレーション技術が有効となる。赤水拡散シミュレーションは，配水管網内で汚染が発生した場合に，汚染水の到達時間や汚染地域がどのように広がっていくかをシミュレーションし対策立案の支援を行う。それにより，災害時に汚染水の迅速な排除や作業者の労力の軽減につながる。**図12**に，本シミュレーションのソフトウェアの構成および処理の流れを示す。また，**図13**に，A 地点において赤水が 1.0 mg/λ の濃度で 2 時間継続して発生した場合の 2 時間後の様子（矢印が流向，黒丸が汚染）を示す。このようにして，本シミュレーションにより赤水の拡散状態を汚染濃度の時間変化として解析することができる[7]。

6　あとがき

水環境を取り巻く災害やリスクへの対応は，地球環境問題とともに今後ますますクローズアップされてくるであろう。その防災対策として重要なことは，人間でいえば「五感に相当するセンサ」と「体力・筋力に相当する電源」と「神経・頭脳に相当する情報通信」をいかにバランス良く効率的にレベルアップするかである。世の中の情報通信技術の急激な進歩は，システムの導入時期の決定を見合わせがちであるが，この種のシステムは導入したあとの維持管理を含めた運用が重要であり「使いものになる」まで育て上げることが必要であろう。

参考文献

(1)　乾俊一ほか：危機管理における計測制御技術における意志決定支援の課題，計測と制御，Vol.36，No.1，p.57-64（1997）
(2)　吉川英一：マルチメディアと危機管理システム，中央経済社（1997）
(3)　伊藤晴夫ほか：水質関連ソリューション技術の動向と展望，富士時報，Vol.70，No.6，p.299-302（1997）
(4)　小原孝志ほか：巡回診断車（回転機用，受変電設備用）の開発，富士時報，Vol.69，No.2，p.114-117（1996）
(5)　通商産業省編：エネルギー '97，電力新報社
(6)　吉野良英ほか：緊急時情報通信に関する共同研究，日本水道協会（1997）
(7)　秋山孝秀ほか：配水管路網における汚染拡散シミュレータ，第37回自動制御連合会，p.329-330（1994）

クリプトスポリジウム対策としてのオゾン消毒技術

田中　義郎（たなか　よしお）　　高橋　和孝（たかはし　かずたか）　　本山　信行（もとやま　のぶゆき）

1　まえがき

近年，クリプトスポリジウムなどの病原性原虫が，水道に混入し激しい下痢などを引き起こすとして，大きな関心を集めている。

クリプトスポリジウムは，原生動物の一種で，大きさは4.5～5.4 μmの原虫であり，ほ乳類の多くに寄生し繁殖する。クリプトスポリジウムは，水や食べ物の中では固い殻に覆われたオーシストの形で存在し，増殖しない。オーシストが，水や食べ物と一緒に人間の体内に入ると，腸内で増殖し，ふん便とともに排出され，再びオーシストとして新たな感染源となる。クリプトスポリジウムに感染すると，激しい下痢と腹痛を起こす。通常の人であれば１～２週間で免疫機能が働き自然に治るが，免疫力が弱っている場合は死亡に至る場合もあるといわれている。

クリプトスポリジウムの感染例としては，米国では1993年にミルウォーキー市において，水道中のクリプトスポリジウムが原因となる集団感染が起こり，160 万人に給水されたうち40万人が下痢を発症し，400 人以上の死亡者を出した。また，日本では1996年に埼玉県越生町で水道水が感染源と思われる集団下痢が発生し，約 8,700 人が発症した。

クリプトスポリジウムのオーシストの殻は非常に固く，塩素消毒に対して非常に強く，一般の浄水場で実施されている塩素消毒では感染力をなくすことはできない。このため厚生省では，1996年10月に「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針[1]」を出し，次の三つの対策を指導している。

(1)　水源の近くに人や家畜のふん便を処理する施設があり，汚染の可能性が高い場合は取水口を変更する。

(2)　クリプトスポリジウムによる汚染の恐れのある浄水場では，凝集剤を使用した急速沪過や膜沪過法により浄水処理を強化し，沪過池出口の水の濁度を 0.1 度以下に維持する。

(3)　水道水がクリプトスポリジウムに汚染された可能性のある場合には，給水を停止する。

本対策では，浄水場の凝集沈殿および沪過などの浄水処理を厳しくすることによって，クリプトスポリジウムを取り除くことに力点を置いている。当然クリプトスポリジウムを除去することは必要であるが，さらに消毒処理によりクリプトスポリジウムを不活化させることも必要であると考える。

本稿では，オゾンによる消毒技術として，クリプトスポリジウムのオーシストの不活化の実験結果と，海外におけるクリプトスポリジウムの消毒技術の事例およびオゾン消毒プロセス例を紹介する。

2　消毒方法と効果

2.1　塩素および次亜塩素酸ナトリウム

2.1.1　原理・特性

塩素は水中に注入した場合，加水分解し，次亜塩素酸 HClO を生じる。

$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HClO + H^+ + Cl^-$

次亜塩素酸は解離して，次亜塩素酸イオン ClO^-になり，この平衡状態は pH 値や水温によって変化する。

$HClO \rightleftarrows H^+ + ClO^-$

次亜塩素酸と次亜塩素酸イオンを遊離塩素または遊離残留塩素という。HClO は ClO^-より強い殺菌力を持ち，その強さが40～60倍もあり，これらの存在比は pH 値が 6 以下では HClO がほぼ 100 %となり，消毒効果が大きい。

また，塩素は水中の有機物と化合して，全有機ハロゲン化合物が生成され，そのうち約30%にトリハロメタンが含まれている。

2.2.2　消毒効果（不活化）

塩素は強い酸化力を持ち，細菌細胞を構成する化合物と反応し，酸化，加水分解あるいは脱アミノを起こす。

塩素に対する各種微生物の不活化は，次の順になる。

細菌＜ウイルス＜原生動物シスト

また，クリプトスポリジウムに関しては，Korichら[2]は，クリプトスポリジウムパルブム（以下，C.parvum と略す）オーシストに対する Ct 値を報告しており，99%（2 Log）不活化では 7,200 mg・min/L であり，塩素単独では不活化

田中　義郎

上下水道における電気・計装設備のシステムエンジニアリング業務に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部新事業推進部次長。

高橋　和孝

環境システムおよびオゾン処理設備のシステム設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部新事業推進部主席。

本山　信行

オゾン，膜を用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所水処理・バイオ研究所水処理グループ主任研究員。

が期待できないと報告している。

原虫のギアルディアについては，Rubin らが[3] **表1**のとおり通常処理で行われる塩素濃度，接触時間よりもかなり大きいと報告している。

2.2　クロラミン

2.2.1　原理・特性

水中にアンモニアが存在すると，塩素はこれと反応してクロラミンを生じる。クロラミンは，水の pH 値によってモノクロラミン NH_2Cl，ジクロラミン $NHCl_2$，トリクロラミン NCl_3 となる。

$NH_3 + HClO \rightarrow NH_2Cl + H_2O$

$NH_2Cl + HClO \rightarrow NHCl_2 + H_2O$

$NHCl_2 + HClO \rightarrow NCl_3 + H_2O$

モノクロラミンとジクロラミンとを結合塩素という。

2.2.2　消毒効果（不活化）

クロラミンの消毒効果は遊離塩素よりかなり弱く，ウイルス，原生動物のシストに対して高い抵抗性の報告がある。**表2**に原生動物シストのギアルディアについての不活化の報告を示す。

2.3　紫外線

2.3.1　原理・特性

紫外線消毒の効果は，微生物によって吸収される照射エネルギー量に直接依存している。水中の遊離物，有機物質などは紫外線を吸収し，特に，浮遊物については紫外線を吸収する一方，微生物への照射を妨害したり，微生物を包み込んで，保護作用を与える（**図1**）。

紫外線は，細胞内に損傷を起こして微生物を不活化し，消毒効果が最も高い紫外線の波長は 250 nm から 270 nm 程度である。また，紫外線消毒は，光回復現象がみられるという特徴があり，紫外線照射直後に可視光線を照射すると，紫外線による不活化が著しく低下する。

2.3.2　消毒効果（不活化）

紫外線消毒では，紫外線照度と照射時間との積が大きいほどその消毒効果が大きい。通常の下水二次処理水の消毒において，紫外線照射直後で大腸菌の平均殺菌率を 99.9 % 程度とすると，放流水中の大腸菌群を 3,000 個/mL 以下とすることができる。

Peeters ほか[6] は，クリプトスポリジウムの十分な不活化には塩素では80 mg/L で 2 時間，オゾンでは 2.25 mg/L で８分，紫外線照射では 15,000 mW/s で 2.5 時間が必要であると報告している。

2.4　オゾン

2.4.1　原理・特性

オゾンはその強い酸化力のために多くの有害物の酸化分解，菌類の不活化の作用を持つ。特に近年，浄水処理への塩素の利用が有機ハロゲン化合物（トリハロメタンなど）を生成することから，上水道における塩素に代わる殺菌の消毒剤としてオゾンが見直されている。

また，オゾン処理は，脱色，脱臭などを主な目的として行われる場合が多く，オゾン消毒を行う場合は，これらとの複合効果が期待できる。

2.4.2　消毒効果（不活化）

オゾンの殺菌力はきわめて優れており，塩素の10～ 100倍程度の不活化があるといわれており，消毒効果の順位を示すと次のとおりである。

$O_3 > ClO_2 > HClO > ClO^- > NHCl_2 > NH_2Cl$

オゾン　二酸化塩素　次亜塩素酸　次亜塩素酸イオン　ジクロラミン　モノクロラミン

表3にオゾンと塩素の微生物群に対する消毒効果の比較

表１　遊離塩素によるギアルディアの不活化（pH＝7）[3]

平均塩素濃度（mg/L）		99%死滅時間（min）	濃度時間積（mg・min/L）	
全塩素	HClO		全塩素	HClO
0.39	0.31	388	149	121
0.86	0.70	194	168	136
1.62	1.32	175	284	230
2.90	2.35	79.9	231	187
8.20	6.66	35.5	291	236

図１　紫外線照射に対する浮遊物質の影響[4]

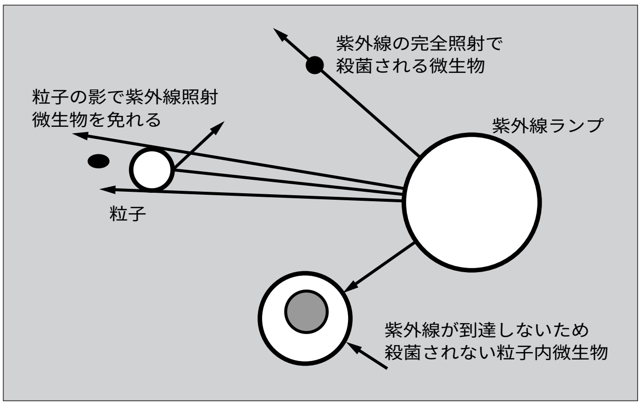


表２　クロラミンによるギアルディアの不活化[4]

種　類	クロラミン（mg/L）	温度（℃）	pH	接触時間（min）	不活化（%）	濃度時間積（mg・min/L）	文　献
ギアルディア	1.5～2.6	3	6.5～7.5	188～296	99	430～580	Meyer（1982）
	6.35	5	7.0	220	99	約1,400	Rubin（1986）
	1.5～30	15	9.0	―	99	約　600	
	1.5～300	15	6.0～7.0	―	99	約1,000	

<注>実験水は，すべて塩素要求量のない緩衝液

を示す。

また，海外文献からクリプトスポリジウムのオゾンによる不活化の実験結果を**表４**に紹介する。

３　オゾンによる C.parvum オーシスト不活化実験

病原性原虫 C.parvum の不活化対策としては，**2.4**節に記述したように，オゾン処理が有効な不活化手段として挙げられている。しかし，不活化のための *Ct* 値は研究者間でかなり異なっているのが現状である。そこで，麻布大学平田強教授のご指導のもとで，*Ct* 値と不活化効果の関係を明らかにすることを目的とし，C.parvum のオゾンによる不活化実験を行った。実験の評価として不活化効果の判定は，脱嚢（だつのう）試験および DAPI/PI 染色試験の二つの方法を用いた。

3.1　供試 C.parvum オーシスト

供試 C.parvum オーシストは，大阪市立大学医学部の井関博士から分与されたヒト由来株を Scid マウス継代して使用した。オーシストの精製は，感染したマウスのふんからショ糖浮遊遠心法で精製し，リン酸塩緩衝溶液中に保存した。

3.2　C.parvum オーシストの生育活性評価方法

C.parvum オーシストの生育活性は，脱嚢試験と DAPI/PI 染色試験で評価し，その試験方法は，前処理も含め，Campbell ら[9] の方法に準じた。

3.2.1　前処理

所定濃度のオーシスト懸濁液を HBSS（Hanks Balanced Salt Solution）で遠心洗浄した後，酸性 HBSS を加えて十分かくはんし，一定温度で１時間保温した。保温後，冷却遠心して上澄みを吸引除去し，HBSS を加えて，生育活性試験用試料とした。

3.2.2　脱嚢試験

前処理したオーシスト懸濁液にデオキシコール酸ナトリウム溶液と炭酸水素ナトリウム溶液を加えて，一定温度で４時間保温し，HBSS で遠心洗浄した後，オーシストの微分干渉像を観察した（**図２**参照）。

脱嚢試験による生育活性の判定は，前処理および脱嚢試験の操作段階で脱嚢が生じたオーシストを「生育活性あり」と判定し，前処理操作前にすでに脱嚢しているオーシストおよび脱嚢試験後に完全な形態を保持した状態のオーシストを「生育活性なし」と判定した。脱嚢試験によるオーシストの生育活性（脱嚢率）は次式で定義した。

$$\text{脱嚢率}(\%) = \frac{(a-b)}{t} \times 100 \qquad \cdots\cdots(1)$$

a：膜嚢試験後に脱嚢したオーシスト
b：脱嚢試験前に脱嚢していたオーシスト
t：全オーシスト

3.2.3　DAPI/PI 染色試験

前処理したオーシスト懸濁液に DAPI（4,6-ジアミン-２-フェニルインドール二塩酸塩）溶液と PI（ヨウ化プロピジウム）溶液を加えて，一定温度で２時間保温し，HBSS で遠心洗浄した後，オーシストの落射蛍光像と微分干

表３　オゾンと塩素の微生物群に対する消毒効果の比較[7]

区　分	99%不活化の濃度時間積（mg・min/L）			
	ウイルス	腸内細菌	細菌芽胞	アメーバシスト
オゾン（mg/O_3/L）	1	0.01	2	10
次亜塩酸（mg/Cl_2/L）	＜5	0.2	100	100
次亜塩素酸イオン（mg/Cl_2/L）	＞200	20	＞10,000	1,000
モノクラミン（mg/Cl_2/L）	1,000	50	5,000	200

図２　C.parvum オーシスト微分干渉像（倍率 10 × 100 倍）
（提供：麻布大学環境保健学部平田教授）

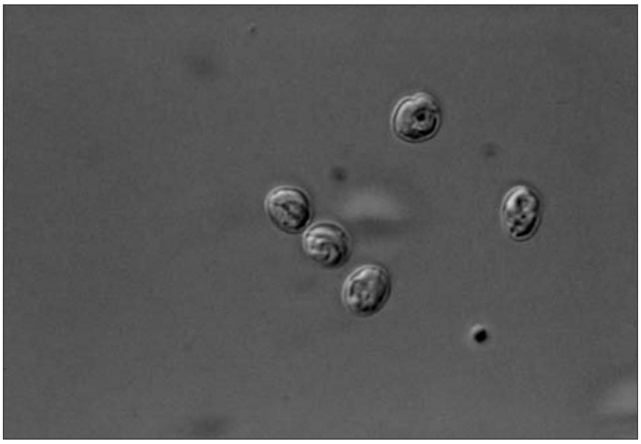
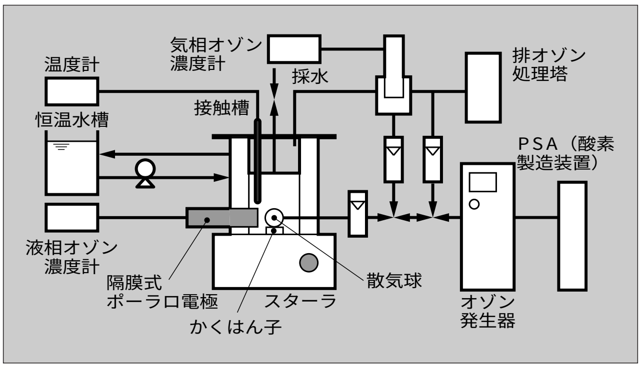


表４　オゾンによるクリプトスポリジウムの不活化

種　類	残留オゾン（mg/L）	温度（℃）	接触時間（min）	濃度時間積（mg・min/L）不活化率≧99%	研究者
クリプトスポリジウム（C.parvum）	0.16～1.3	7	5，10，15	7	Finch et al.（1993）[8]
	0.17～1.9	22	5，10，15	3.5	
	0.77	室温	6	4.6	Peeters et al.（1989）[6]
	0.51	室温	8	4	
	1.0	25	5，10	5～10	Korich et al.（1990）[2]
	0.44	20	6	2.6	

図３　オゾン処理実験装置



渉像を観察した。

DAPI/PI 染色試験による生育活性の判定は完全な形態と保持した状態の PI 陰性オーシスト（PI^-）ならびに操作段階で脱嚢が生じたオーシストを「生育活性あり」と判定し，完全な形態を保持した状態の PI 陽性オーシスト（PI^+）と前処理操作前にすでに脱嚢しているオーシストを「生育活性なし」と判定した。DAPI/PI 染色試験によるオーシストの生育活性は次式で定義した。

$$\text{生育活性の割合}(\%) = \frac{(a+b-c)}{t} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

α ： PI を排除したオーシスト数
b ：染色試験後脱嚢したオーシスト数
c ：染色試験前脱嚢したオーシスト数
t ：全オーシスト数

3.3　オゾンによる不活化実験

3.3.1　実験方法

実験装置を**図３**に示す。実験水は，リン酸塩緩衝溶液で pH7.1 に調整した純水をオゾン処理してオゾン消費物質を酸化分解した後，脱オゾンした水とした。供試オーシスト懸濁液を実験水で遠心洗浄してオーシスト濃度がおよそ 1.0×10^5 個/mL になるように懸濁させた。

オーシスト懸濁液 500 mL をアクリル樹脂製反応槽に取り，かくはん子を入れ，マグネチックスターラでかくはんしながら恒温水槽からの循環水で反応槽内の水を20 ℃に保温した。かくはんをやめて直径20 mm の散気球からオゾンガスをオーシスト懸濁液に直接吹き込んだ。

オゾン発生装置（POX−20，富士電機製）からオゾンガス流量は一定とし，溶存オゾンは反応槽内に設置した溶存オゾン濃度計による連続測定とインジゴ法による測定を行った。試料は，所定の時間ごとに25 mL ずつ採水し，残留オゾンはチオ硫酸ナトリウム溶液により分解した。

3.3.2　オーシスト濃度

所定量の試料をメンブランフィルタで沪過した後，フィルタ上で間接蛍光抗体染色し，落射蛍光顕微鏡でオーシストを計数して濃度を算出した。

3.3.3　実験結果

オゾン処理は，pH 一定にて水温 20 ℃，溶存オゾン濃度 0.05，0.1，0.2，0.5 mg/L の 4 とおりとした。実験結果

図４　脱嚢試験における不活化結果

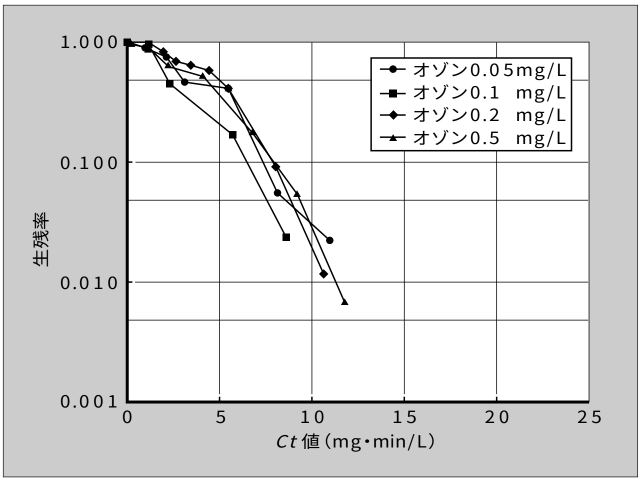
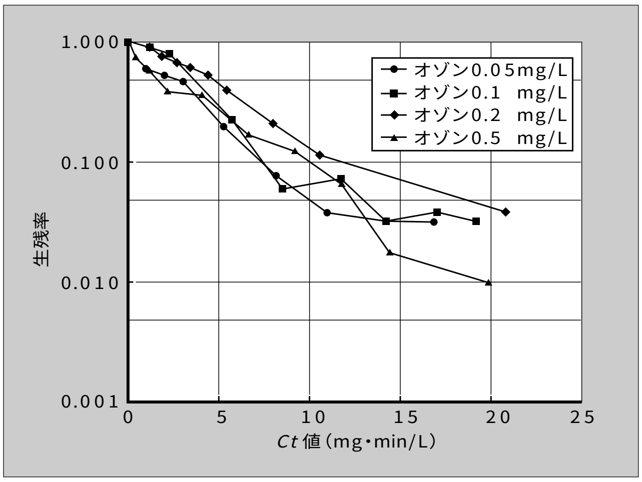


図５　DAPI/PI 染色試験における不活化結果



は，消毒の指標の一つである Ct 値（mg･min/L）により評価した。

Ct ＝消毒剤濃度 C（mg/L）×接触時間 t（min）……(3)

脱嚢試験における Ct 値と生残率の関係を**図４**に，DAPI/PI 染色試験におけるそれらの関係を**図５**に示した。いずれの試験においても Ct 値の増加に伴い，C.parvum の生存率は低下した。

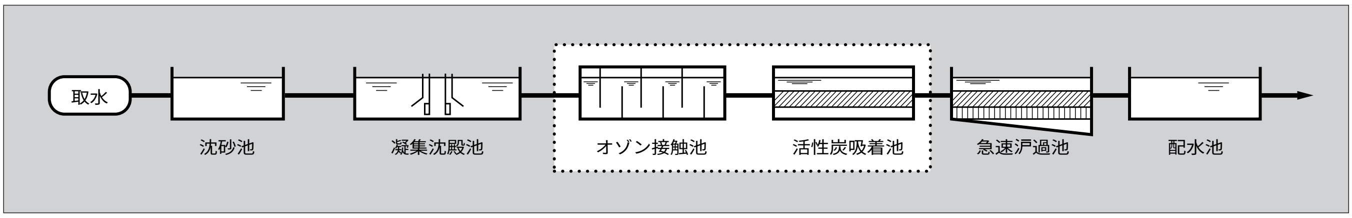
Ct 値は，脱嚢試験に比べ，DAPI/PI 染色試験のほうが大きくなった。脱嚢試験の場合，溶存オゾン濃度 0.05 〜 0.5 mg/L の範囲で，90% 不活化 Ct 値は，約 7 〜 8 mg･min/L となった。また，99%不活化 Ct 値は溶存オゾン 0.5 mg/L 時に約12 mg･min/L の結果が得られた。

一方，DAPI/PI 染色試験の場合，溶存オゾン濃度 0.05 〜 0.5 mg/L の範囲で，90% 不活化 Ct 値は 7 〜11 mg･min/L とばらついた。また，99%不活化 Ct 値は，溶存オゾン濃度 0.5 mg/L 時に約20 mg･min/L の結果が得られた。

3.3.4　実験結果のまとめ

(1)　C.parvum オーシストの不活化効果は，Ct 値で評価できることを確認した。
(2)　C.parvum オーシストは，オゾン処理によって90〜99%レベルの不活化を確認した。

図６　オゾンによる高度浄水処理および消毒処理フロー



(3)　不活化 Ct 値は，脱嚢試験，DAPI/PI 染色試験で評価できる。このとき，不活化レベルが大きくなるほど，DAPI/PI 染色試験の方が脱嚢試験より大きくなる傾向を示した。

「安全なおいしい水」の供給をめざして，現在多くの浄水場で異臭味除去を目的に高度処理施設が導入されているが，本研究結果により病原性原虫の不活化を付加したオゾン処理プロセスへの適応が可能となる。今後さらに，オゾン処理操作因子，水質因子の影響などについて研究を進め，オゾン処理による消毒プロセスを完成させる。

４　クリプトスポリジウムの消毒に関する海外事例（ミルウォーキー市の浄水場）

米国では1993年ミルウォーキー市で水道のクリプトスポリジウムが原因となる集団感染が起こり，160 万人に給水され40万人が下痢を発症し，400 人以上の死亡が発生している。その後のミルウォーキー市クリプトスポリジウム汚染に対する恒久対策としてのオゾン消毒プラント導入計画の内容を事例として紹介する。

4.1　オゾン導入の考え方

(1)　浄水場および処理水量

(a)　Linnwood 浄水場

設計処理水量： 104 万 m^3/d

(b)　Howard Avenue 浄水場

設計処理水量： 57 万 m^3/d

(2)　オゾン導入目的

(a)　クリプトスポリジウムの完全除去

(b)　異臭味の除去

(c)　消毒副生成物の除去

(d)　将来の州および合衆国の規制に適合する

(3)　対策内容

以下の三つの対策により，クリプトスポリジウムの99.9999 %除去の達成を目標としている。

(a)　取水口の位置を変更する…潜在的クリプトスポリジウム汚染の 1.7 Log ＝ 90%の減少を目標

(b)　凝集剤供給システムと沪過プロセスによる粒子・濁度除去改善… 3 Log ＝ 99.9 %のクリプトスポリジウム除去を目標

(c)　消毒プロセスとしてオゾン処理の導入…最小でも２ Log ＝ 99%の除去目標

4.2　オゾン消毒プロセス

(1)　オゾンの注入位置

オゾンの注入位置は原水・沈殿水・沪過水が考えられるが，ミルウォーキーの場合，クリプトスポリジウム除去，および建設コストなどからオゾンの注入位置を決定している。

オゾン消毒プロセスでのクリプトスポリジウムの除去性を左右する因子は，オゾン注入率（溶存オゾン濃度 C との関連），接触時間（t）の積である Ct 値が大きな要因であり，建設的な要素を考慮し注入位置を決定している。

(a)　Howard Avenue 浄水場：前オゾン

(b)　Linnwood 浄水場：中オゾン

(2)　Ct 値

溶存オゾン濃度 C（mg/L）×接触時間 t（min）＝ 2.64（mg･min/L）を採用

(3)　オゾン発生設備

(a)　Howard Avenue 浄水場

オゾン発生量： 117 kg/h（39 kg/h × 4 台）

オゾン発生濃度： 6 ～12 wt %

(b)　Linnwood 浄水場

オゾン発生量： 46 kg/h（23 kg/h × 2 台）

オゾン発生濃度： 6 ～12 wt %

(c)　オゾン注入率： max 2.5 mg/L

(4)　オゾン接触池の計画内容

(a)　滞留時間：計画処理水量時　20分

通常処理水量時　30分

(b)　段　数： 3 段

(c)　注入方式：散気方式

５　オゾン消毒プラントの設備計画

オゾン処理設備のシステム構成は，オゾン発生設備，オゾン接触設備，排オゾン処理装置および電気計装設備から構成される。

5.1　消毒プロセスにおけるオゾンフロー

オゾン処理は，前オゾン処理（原水にオゾン注入），中オゾン処理（沈殿水）が考えられる。その処理効果としては，消毒と同時に除鉄，除マンガン，有機物酸化と前塩素中止によるトリハロメタン生成の抑制がある。

図６に参考フローを示す。

5.2　オゾン処理設備の設備計画手法

5.2.1　オゾン接触池の設計

オゾン接触池の設計に際し，富士電機で開発したオゾン接触池内のオゾン溶解・反応のモデル化およびシミュレーションはオゾン消毒にも非常に有効な手段となる。

シミュレーションでは，処理水量，オゾン注入率，オゾンガス濃度，流入汚濁物質濃度，反応速度定数などの条件を入力することにより，原水の水質（季節的な変動）を想定し，以下の項目をはじめ，ダイナミックな処理特性の予測ができる。

(1)　オゾン吸収率
(2)　処理水溶存オゾン濃度
(3)　*Ct* 値
(4)　臭気物質除去率
(5)　クリプトスポリジウム不活化率
(6)　臭気酸生成量

また，設備供用後の処理特性検証時においても，シミュレーションにより処理特性の評価や，オゾン注入率など最適運用検討が可能になる。

5.2.2　オゾン注入量制御技術

オゾン注入制御については，消毒効果を目的とする場合，特に溶存オゾン濃度を監視，制御することが重要であり，*Ct* 値を管理指標とし，水質，水量，温度などの外乱に対し，安定した消毒などの処理効果を上げ，過剰注入をなくし，ランニングコストの低減を図ることができる。

消毒目的の場合，オゾン接触時間のファクタを加えたカスケード制御になる。カスケード制御は，*Ct* 値または溶存オゾンを一次目標値とし，オゾン発生量を調整する制御ループを一次制御とし，さらにその調整出力信号を二次ループの電力設定信号として，オゾン発生器の電力をフィードバック制御し，処理水質に応じた追従性の速い安定したオゾン発生量制御を行うものである。

6　あとがき

水道において，「より安全でおいしい水」に対する国民の関心が年々高まってきており，このためにかび臭物質やトリハロメタン前駆物質をより安定的，効果的に除去する方法として，オゾン処理と活性炭処理を組み合わせた高度処理施設が淀川水系・利根川水系を中心に導入されている状況がある。クリプトスポリジウム対策についても高度処理施設の導入，膜とオゾンを組み合わせた技術や，また管理指標など，今後さらに研究開発を進めていく考えである。

参考文献

(1)　厚生省：水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針（1996）

(2)　Korich, D. G. et al. : Effects of Ozone, Chlorine Dioxide, Chlorine, and Monochloramiron Cryptosporidium Parvum Oocyst Viability. Applied and Environmental Microbilogy. Vol.56, No.5, p.1423-1428（1990）

(3)　Rubin, A. J. et al. : Inactivation of Gerbil-Cultured Giardia lamblia Cysts by Free Chlorine. Applied and Environmental Microbilogy. Vol.55, p.2529-2594（1989）

(4)　Sobsey, M. D. : Inactivation of Health-related Microorganis in Water by Disintection Processes. Water Science and Technology. Vol.21, No.2, p.171-195（1989）

(5)　日本下水道事業団技術開発部：最近の消毒技術の評価に関する報告書（1997）

(6)　Peeters, J. E. et al. : Effect of Disintection of Drinking Water with Ozone or Chlorine Dioxide on Survial of Cryptosporidium Parvum Oocysts. Applied and Environmental Microbilogy. Vol.55, p.1519-1522（1989）

(7)　平田勉：第1回オゾンに関するセミナーテキスト，日本オゾン協会（1991）

(8)　Finch, G. R. et al. : Ozone Inactivation of Cryptosporidium parvum in Demand-free Phosphate Buffer Determined by in vitro Excystation and Animal Infectivity. Applied and Environmental Microbiology. Vol.59, No.12, p.4203-4210（1993）

(9)　Campbell, A. T. et al. : Viability of Cryptosporidium parvum Oocysts ; Correlation of In Vitro Excystation with Inclusion or Exclusion of Fluorogenic Vital Dyes. Applied and Environmental Microbiology. Vol.58, No.11, p.3488-3493（1992）

トリハロメタンの検出と低減化技術

多田　弘（ただ　ひろし）　大戸　時喜雄（おおと　ときお）

1　まえがき

最近の水道のキーワードは“安全”であり，水道原水中の病原性微生物，有害物質ならびに給水中の消毒副生成物質の除去・低減化に高い関心が寄せられている。

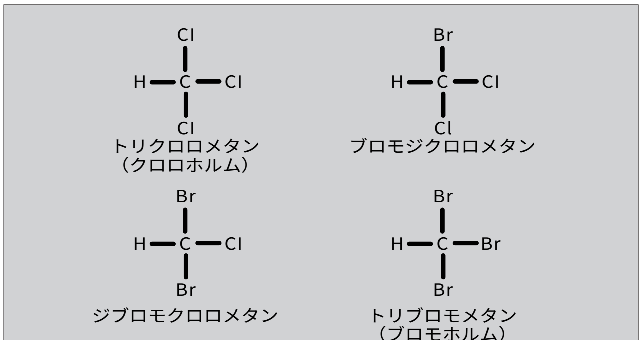
富士電機は，早くから水道の安全を見守るための各種水質計の開発を手掛け，原水から蛇口までを対象にした新しいタイプの水質計群をラインアップしてきた。これらは，現状の大半のセンサが採用している物理的検出機構に加えて，化学・光学・バイオの技術を高度に融合させた装置であり，水質試験室に装備されている精密分析計に匹敵または凌駕（りょうが）する性能を有している。

特に，昨今クローズアップされている発がん性のトリハロメタン問題では，水道水中で生成増加するトリハロメタン量を常に捕そくし，許容量内に抑制するための低減化対策を施すことが必要となる。富士電機は，世界で唯一，水道水中のトリハロメタンを自動測定可能としたトリハロメタン計を製品化しており，東京都水道局との3年間の共同研究を通して，低減化対策のためのシステムを構築した。

2　トリハロメタン問題の経緯と水質規制

トリハロメタンは，有機塩素化合物の一種であり，水質基準では**図1**および**表1**に示した4種類が規制されている。

図1　水質基準で規制されているトリハロメタン



これらは水道水中で存在頻度が高く，それぞれの総量を総トリハロメタンと定義している。

トリハロメタン問題は，1972年にライン川の河川水からクロロホルム（トリハロメタンの一種）が検出され，その原因が河川水を塩素処理することによるクロロホルム生成であるとの報告に端を発した。また，ほぼ同時に，ミシシッピ川下流のニューオーリンズ市民のがん死亡率が高いのは水道水が原因であるとの論文が公表され，米国環境保護庁による調査の結果，水道水中にクロロホルムが高い濃度で検出された。さらに，トリハロメタンの発がん性が動物実験により判明したため，世界的にトリハロメタンへの関心が高まった。

3　トリハロメタンの毒性

トリハロメタンのなかで最も存在比率の高いクロロホルムは，一時期麻酔薬として用いられていたが，副作用として強い肝臓障害・腎障害・不整脈が明らかとなって，現在ではまったく使用されていない。

トリハロメタンの毒性原因は，クロロホルムではその代謝物質であるホスゲン（$COCl_2$）が，ブロモジクロロメタン，ジブロモクロロメタン，ブロモホルムについては，水素原子が外れたトリハロメチルラジカルが，毒性を示すと推定されている。

国際がん研究機関であるIARC（International Agency for Research on Cancer）による人に対する発がん性の分類では，クロロホルムとブロモジクロロメタンがグループ

表1　トリハロメタンの水質基準値

項　目	基準値（mg/L）
総トリハロメタン	0.1　以下
クロロホルム	0.06以下
ブロモジクロロメタン	0.03以下
ジブロモクロロメタン	0.1　以下
ブロモホルム	0.09以下

多田　弘

上下水道，工業用水の電気・計測システム設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部首都圏北部支店課長。

大戸　時喜雄

バイオセンサ，光応用計測器の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所水処理・バイオ研究所化学・計測器グループ研究マネージャー。

2B に指定され，人に対する発がんの可能性があるとされている。その他の二つについてはグループ 3 で，完全には発がんが否定されていない。

水道水中のトリハロメタンは，飲み水としてだけではなく，風呂場の水蒸気や，水道水をさらに追加塩素処理して循環利用するプール水中などにも多く存在しており，われわれの生活の身近なところで人体への暴露がある。

最近では，米国カリフォルニア州健康局の衝撃的な調査結果が紙面に掲載された。日米での総トリハロメタン水質基準値である 100 μg/L 以下の水道水を飲み続けることにより妊婦流産率が倍増するというもので，米国環境保護庁においても拡大調査が実施される予定である。環境ホルモン［内分泌攪乱（かくらん）成分］の話題が取りざたされている昨今，新たな問題が提起される可能性がある。

4 トリハロメタンの生成

4.1 日本の水環境によるトリハロメタン生成

トリハロメタンは，河川水中に存在するフミン酸やフルボ酸などの生物分解が困難な有機物（以下，生物難分解性有機物という）が，浄水場や下水処理場で塩素消毒される過程で生成する消毒副生成物質である。同一河川に浄水場と下水処理場が複数混在するような繰返し利用形の上下水道形態をとるわが国は，トリハロメタンが多量に生成されやすい環境といえる。

(1) 浄水場では，原水中のアンモニアを酸化させるために凝集沈殿の前段で前塩素注入を行っている。わが国では河川が短く，河川浄化作用によるアンモニア硝化が十分期待できないからである。そのため，原水中にアンモニアとともに含まれる生物難分解性有機物が高濃度状態で塩素と反応し，多量のトリハロメタンを生成する。

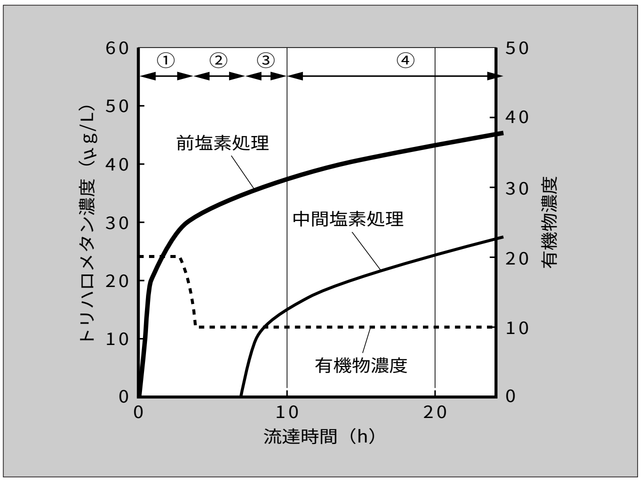
(2) 下水処理場では，処理水中に残留する生物難分解性有機物と消毒用塩素とが反応してトリハロメタンを生成させ河川放流される。下水処理場の下流に位置した浄水場では，この放流水が水道原水となる。

4.2 浄水過程におけるトリハロメタン生成

図2は，浄水過程におけるトリハロメタンの生成と増加の様子を模式化したものである。①は着水井から混和池まで，②は混和池から沈殿池出口までの凝集沈殿過程，③は沪過池から浄水池でここまでが浄水場，④は配水管である。処理水中の有機物は，凝集沈殿で半分が除去されると仮定している。

図2に示すように，前塩素処理の場合は，着水井での塩素注入地点から急激なトリハロメタン増加が始まる。なお，生成したトリハロメタンの一部は大気への輝散や太陽光の影響などで減少はあると考えられる。一方，中塩素処理では，凝集沈殿で有機物が除去されるために，前塩素処理に比較すると増加の程度が少ない。両方式とも浄水場出口以降はなだらかな上昇率を描く。

図２　浄水過程でのトリハロメタンの増加



5 トリハロメタン低減化対策の現状

5.1 トリハロメタン低減化の基本的な考え方

トリハロメタン低減化の基本的な考え方は以下のようになる。

(1) 原水中の生物難分解性成分の低減化
(2) 原水中のアンモニア濃度の低減化
(3) 浄水場における塩素注入量の低減化
(4) 配水管内でのトリハロメタン増加の抑制
(5) 生成したトリハロメタンの除去
(6) 浄水・配水過程におけるトリハロメタン値の連続監視

などが考えられる。現在行われているトリハロメタン低減化対策例を以下に紹介する。

5.2 塩素注入方式による低減化

塩素注入は，浄水場での消毒を目的として沪過処理後に注入される後塩素処理のほか，水質汚濁の進行した下記の原水浄化目的として凝集沈殿以前に注入する前塩素処理，沈殿池と沪過池との間で注入する中間塩素処理が行われる。

(1) 藻類，バクテリア，細菌など生物の死滅
(2) 鉄，マンガンの酸化除去
(3) アンモニア性窒素，有機物などの酸化除去
(4) 異臭味の分解

前塩素処理方式は，高濃度の生物難分解性有機物が塩素と化合するためトリハロメタン問題を深刻化させた。これを回避するために，近年は，前塩素処理から中間塩素処理に切り換える浄水場が増えている。しかし，クリプトスポリジウムやジアルディアなどの病原性原虫が新たな問題となってきた昨今では，塩素の接触時間を少しでも長くとり，原虫の不活性化の効果を期待する必要も生じてきている。このため，中間塩素処理によるトリハロメタン低減化効果と，前塩素処理による原虫対策をてんびんに掛けざるを得ない事業体も増えている。

5.3　粉末活性炭による低減化

トリハロメタンの原因物質である生物難分解性有機物を低減化することを目的に，夏季の高温・渇水時に原水の過マンガン酸要求量が高くなると，凝集処理前段に粉末活性炭を注入して対応している例も多い。

5.4　オゾン・生物活性炭を用いた高度処理による低減化

現在，トリハロメタン対策として最も効果の期待されている処理方法の一つがオゾンと生物活性炭を用いた高度処理である。沈殿処理水をオゾン接触池に導き，凝集沈殿で除去できなかった有機物を酸化・分解する。このとき生物難分解性有機物は生物分解性となり，後段の生物活性炭処理において，生物分解される。また，生物活性炭処理では，未硝化のアンモニアを活性炭表面に吸着している硝化菌によって硝化する働きもある。このように，オゾン・生物活性炭処理を用いた高度処理は，

(1)　トリハロメタン生成の前駆物質である生物難分解性有機物濃度の低減化
(2)　塩素消費の増大をもたらすアンモニアの硝化

といった面で，トリハロメタン低減化に大きな効果がある。

富士電機は，東京都水道局金町浄水場，大阪市柴島浄水場に高度処理設備を納入し，水質改良面で大きな貢献をしている。

6　トリハロメタンの測定方法

トリハロメタン問題が現在のように広く認識されるようになった要因の一つは，トリハロメタンや他の有機塩素化合物のような低沸点化合物がガスクロマトグラフィで測定できるようになったことだといわれている。

現在，水質基準で定められているトリハロメタン測定の公定法の一つであるパージトラップ－ガスクロマトグラフ－質量分析（PT-GC-MS）法の主な測定手順は以下のとおりである。

(1)　検水中の揮発性有機物をパージして気相中に追い出す。
(2)　トラップ管中に揮発成分を濃縮する。
(3)　トラップ管を加熱してガスクロマトグラフ－質量分析計に導入するか，トラップ管から揮発性有機物を加熱脱着後，さらに冷却濃縮させてガスクロマトグラフ－質量分析計に導入する。
(4)　それぞれのマススペクトルの強度と選択的フラグメントイオンの値を測定して，揮発性有機物の濃度を求める。

これらの操作は，煩雑で，かつ準備に多くの時間を要するために，熟練が必要である。さらに，測定値に個人差が出やすい。このため，簡便な測定装置が求められていた。

7　富士電機のトリハロメタン低減化システム

富士電機は，上水道の浄水・送配水過程において，①トリハロメタン値を連続測定できるトリハロメタン計，②トリハロメタン生成の増加予測シミュレーション，③両者を基にしたトリハロメタン低減化管理システムを開発した。これらは，センサ技術とコンピュータ技術，通信技術を融合してはじめて実現できるプラントソリューションであり，世界で唯一富士電機が保有する技術である。

図3　トリハロメタン計の外観

7.1　トリハロメタン計

(1)　測定原理

富士電機のトリハロメタン計は，上述のガスクロマトグラフィとはまったく異なる原理を用い，ガスクロマトグラフィに匹敵する性能を持った装置である。

トリハロメタンとニコチン酸アミドは，強アルカリ下で反応して蛍光を発色し，かつ ppb レベルの検出感度が得られることを奥村らが見いだした[(4)]。

富士電機のトリハロメタン計はこの研究をもとに，膜分離によるトリハロメタン抽出・濃縮方法を考案することによって高感度化を図り自動化した。**図3**は本装置の外観である。また，**図4**に本装置の測定原理を示す。

トリハロメタンを含んだ試料水は，分離部に導かれ，ガス透過性膜を介して，トリハロメタンだけが気相部に抽出される。一方，ニコチン酸アミドとアルカリ液は混合されキャリア液として分離部に導かれ，気相部にガスとして濃縮されたトリハロメタンをガス透過性膜を介して溶解させる。トリハロメタンが溶解したキャリア液は反応部に導かれ，トリハロメタンとニコチン酸アミドから藤原反応によって蛍光体が生成する。蛍光検出部では，368 nm の励起光によって発生する 468 nm の蛍光を検出し，トリハロメタン濃度に変換する。

本装置の最大の特長は，分離部で試料水からトリハロメタンをガスとして抽出することによって，試料水中の共存物の影響を受けずに藤原反応を生じさせる点である。

図5は，日本全国の幾つかの水道水を本装置とガスクロマトグラフィで測定し比較したものである。また，**図6**は，本装置で一日のトリハロメタン濃度を連続測定した例である。これらの結果から，本装置はガスクロマトグラフィと同等の感度で，連続測定が可能であることが分かる。

(2)　仕　様

図４　トリハロメタン計の測定原理図

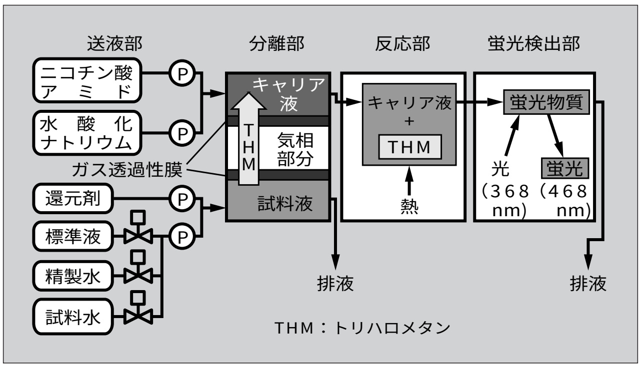


図５　トリハロメタン計とGC法の相関図

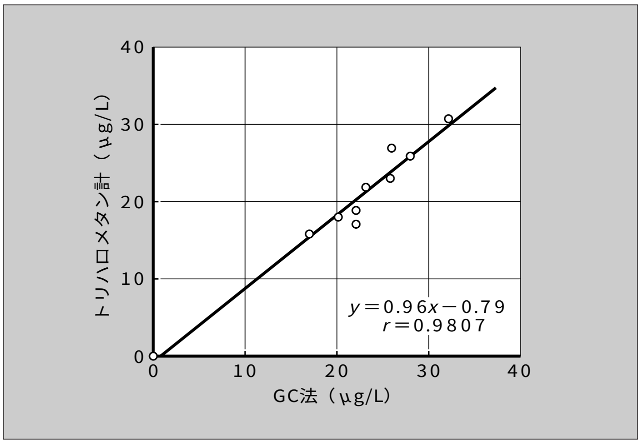
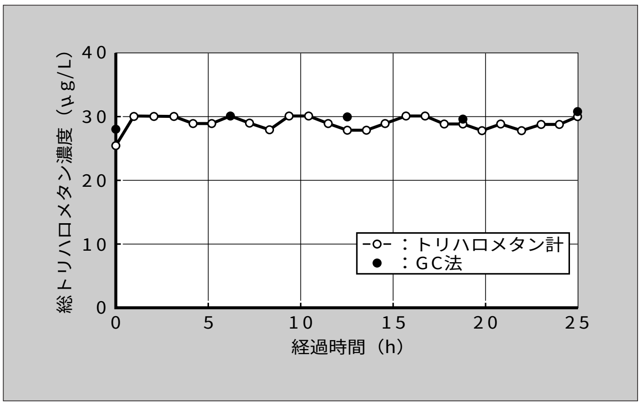


図６　トリハロメタン計の自動運転の例



本装置の概略仕様を**表２**に示す。

表２　トリハロメタン計の概略仕様

測定対象	総トリハロメタン
測定方式	アルカリ性ニコチン酸アミドとトリハロメタンとの反応による蛍光測定
応答時間	約40分以内
検　　水	上水（水道水）などの飲料水
測定範囲	0～200μg/L（クロロホルム当量）
周囲温度	5～40℃
外形寸法	W500×H440×D470（mm）
電　　源	AC100V±10V，50/60Hz
消費電力	500VA以下
質　　量	約50kg
日常保守	測定試薬の調整・補充：約3週間ごと
定期保守	消耗部品の交換：約3か月ごと

7.2　トリハロメタンの配水管網における増加予測シミュレーション

トリハロメタン問題の厄介な点の一つは，浄水場で塩素注入によって生成したトリハロメタンは，配水管網中で増加する点である。トリハロメタンの配水管網での増加については，丹保らによって定量的な研究がなされており，以下で示す増加式に従う。

$$\mathrm{THM} = k\,〔\mathrm{Cl_2}〕^a\,〔\mathrm{TOC}〕^b\,〔\mathrm{pH}〕^c\,〔t〕^d \quad \cdots\cdots(1)$$

k，a，b，c，d：定数

〔Cl_2〕：有効塩素濃度

〔TOC〕：全有機炭素濃度

〔pH〕：pH値

〔t〕：塩素接触時間

この式によれば，トリハロメタン生成が塩素注入量と有機物濃度に支配され，また，pHが高く塩素接触時間が長いほど生成量が増加することが分かる。また，トリハロメタンに警戒を要する事業体では，管理しやすい簡略式を実験で求めている場合もある。

富士電機のトリハロメタン監視システムでは，トリハロメタン計の連続測定データを基に，上述のトリハロメタン増加式，管網データや水運用データを基に，浄水場出口でのトリハロメタン濃度から給水所，給水所から給水末端までのトリハロメタン濃度を予測することが可能となる。

7.3　トリハロメタン低減化管理システム

富士電機は，トリハロメタンを連続測定できるトリハロメタン計をキーコンポーネントにしてトリハロメタン低減化管理システムを開発した。

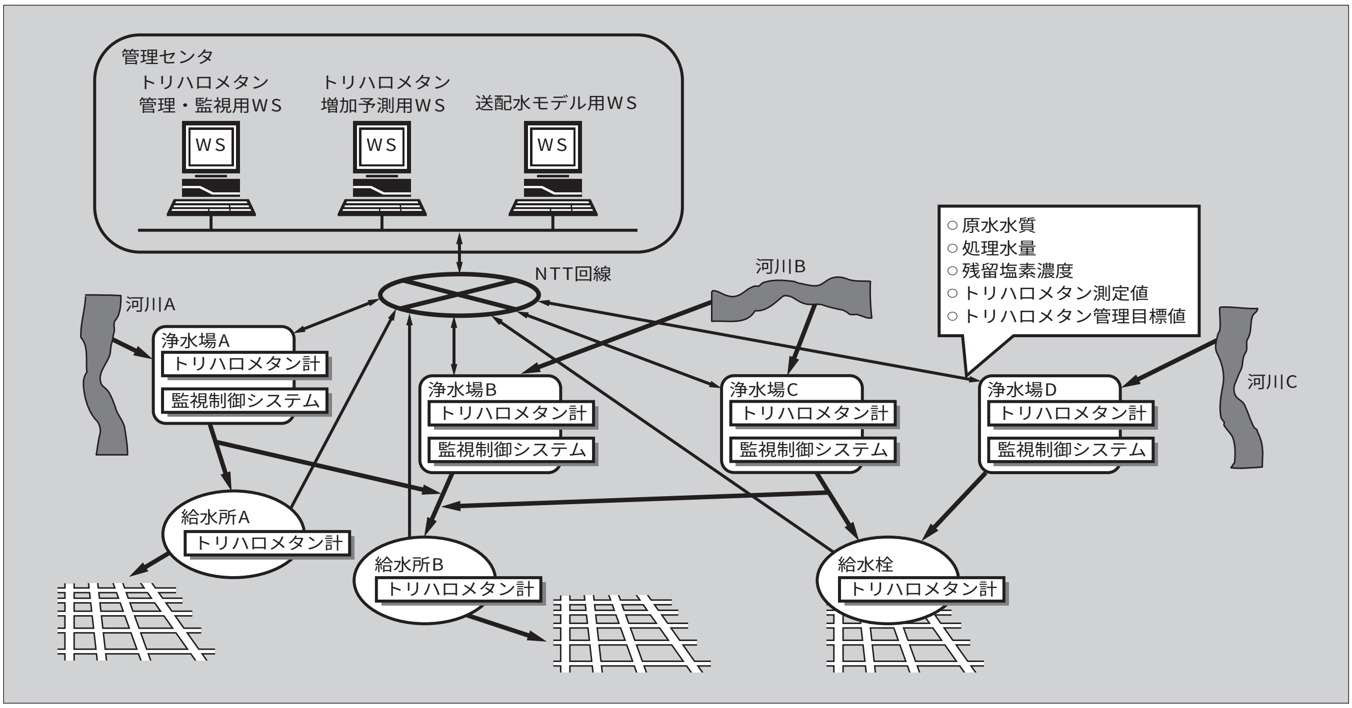
7.3.1　システム構成と機能

トリハロメタン計を用いたトリハロメタンの連続監視体制による浄水場および配水管網のトリハロメタン低減化のための管理システムを**図７**に示す。本システムは，浄水場や給水所に設置されたトリハロメタン計とこれらの計器測定データを一元管理するデータステーションとネットワーク，トリハロメタン増加予測シミュレーションパッケージから構成される。機能は次のとおりである。

(1)　浄水場および配水管網でのトリハロメタン濃度の現況や中長期トレンドの集中管理が可能となり，トリハロメタン管理目標値の逸脱といった不測事態や経時的な変動・傾向など，水道施設全体にわたるトリハロメタンの実態を把握できる。

(2)　給水末端でのトリハロメタン濃度を規制値以下に抑制するためには，配水管網でのトリハロメタン生成増加分をあらかじめ見込んで浄水場出口の管理目標値を定める必要がある。本システムでは，水運用計画（水量・供給元となる浄水場などの変更）に対応して，配水諸元デー

図7　トリハロメタン管理システム



タ（管径，管長，水量，幹線相互間の混合など）から配水過程でのトリハロメタン増加分を予測可能である。このため，水運用計画が変更となった場合に，浄水場出口での新トリハロメタン管理目標値の設定，および現状目標値での継続運用の可否についての判断が可能である。

上記のシステムを導入することにより，次のようなトリハロメタン低減化施策を実現できる。

7.3.2　トリハロメタン低減化施策

(1)　浄水場における低減化施策

(a)　原水と凝集沈殿水のトリハロメタン生成能を連続監視することで，凝集沈殿によるトリハロメタン生成能除去率が明確となり，凝集剤注入率の調整，原水への活性炭の注入，また，施設運用上可能であれば塩素注入点の切換などの対策を行える。

(b)　塩素注入点での初期トリハロメタン濃度と浄水場内の塩素接触時間から浄水場出口でのトリハロメタン濃度を予測し，塩素注入率の調整が可能である。

(c)　高度処理（オゾン・生物活性炭）後段でのトリハロメタンやトリハロメタン生成能の監視によって，高度処理のトリハロメタン生成能除去能力を評価できる。

(d)　浄水場出口でのトリハロメタン濃度から，配水管網におけるトリハロメタン増加予測が行える。

(2)　配水管網での低減施策

給水所や代表的な給水末端でのトリハロメタン濃度から，配水管網のトリハロメタン増加予測シミュレーションの検証が行える。さらに，水運用を実施している事業体では，トリハロメタンの濃度上昇時に次のような対策を行える。

(a)　トリハロメタン濃度の上昇が観測された地点に対して，高度処理水や，低トリハロメタン浄水を応援給水することなどの対策が可能である。

(b)　水需要予測や配水の流達時間データとトリハロメタン増加予測シミュレーションを連係することで，より効果の高いトリハロメタン低減化を実施可能である。

富士電機のトリハロメタン低減化システムは，原水から配水管網までのトリハロメタンがオンラインで監視でき，かつ，浄水場内や配水管網での増加予測シミュレーション機能を組み合わせることにより迅速で効果の高いトリハロメタン低減化対策支援を可能にした世界で唯一のシステムである。

8　あとがき

トリハロメタンは自然界には存在しない物質であるが，皮肉にも浄水場での消毒という安全対策により生成し，われわれの健康を脅かしている。

富士電機は，水道施設で今後ますます強化されるトリハロメタン低減化対策に向けて，上述したセンサと管理システムの両面で貢献ができるものと確信している。

さらに，トリハロメタン生成能についても連続測定化に向けた開発を進めており，本センサが完成すれば，富士電機が現有する凝集・沈殿制御との連係によりトリハロメタン低減化に一層の加速ができるものと考えている。

参考文献

(1)　丹保憲仁編著：水道とトリハロメタン，技報堂出版（1983）
(2)　厚生省監修：上水試験方法，日本水道協会（1990）
(3)　佐藤敦久編著：水処理，技報堂出版（1992）
(4)　Okumura, K. et al. : Fluorimetric Determination of Chloroform in Drinking Water. Analyst. Vol.107, p.1498-1502（1982）

突発性水質事故とセンサ技術

福田　政克（ふくだ　まさかつ）　　田中　良春（たなか　よしはる）

1　まえがき

河川における水質事故は流域における人口の増加とともに増大し，不注意による燃料油や潤滑油の流出，排水処理施設の異常による汚濁物質流出，廃棄物の不法投棄，交通事故による積載物の流出などが発生している。また，サリン事件のようにテロリストによる毒物投下の危険性も予想され，合わせて対策しなければならない状況に陥っている。建設省の発表によると，1995年には一級河川において275件の水質事故が発生し，そのうち油類の流出事故が199件，その他危険物の流出が76件発生したとされている。また，これらの事故により上水用水の取水停止が21件引き起こされている。

1997年5月に成立した改正河川法は「河川環境の整備と保全」「異常渇水時の円滑な水利使用のための措置」などを主目的として改正されたが，そのなかで水質事故の発生時には原因者に除去などの処理と費用の負担をさせることができるようになったことが注目される。水質事故が発生すると原因者，被害者ともに多大な損害を受けることになるので，起こさせてはならないし，起こったとしても迅速に異常を発見し実害の及ばないように手を打たなければならない。そのためには日常の予防活動や手際のよい復旧処置，そしてそれをサポートする河川水質管理システムなどの施設や復旧機材を整えることが重要となる。

富士電機は突発性水質事故による社会的不安および浄水処理における損害の重大性を考慮し，これを迅速・確実に発見するセンサ技術と事故の予防および発生後の適切な処置に欠かせない河川水質管理システムの開発に努めてきた。特にセンサ技術の基盤の一つであるバイオアッセイ（簡易生物評価手法）技術は急性および慢性の有害物質の検出方法として効果的な手段と考え，積極的に開発と普及に取り組んでいる。ここではバイオアッセイを含め，富士電機のセンサ技術の実績と展望を紹介する。

2　水質事故の発見とサポート技術

2.1　水質事故の特徴

油類による水質事故は水道水の異臭味の原因となり，水道事業体では，事故の発見に伴いオイルフェンス設置，取水停止，粉末活性炭の注入などの処置を行っている。化学薬品の流出事故の場合，人体に直接的に影響を与えるものもあり，浄水場への流入が疑われる場合，放流廃棄処分がとられ大きな損害となる。

油類以外による水質事故が発生した場合，当初，原因物質が判明することは少なく，現象面から事故原因を推定し処置方法を決めざるを得ない。現象を「魚浮上」「油類流出」「フェノール類流出」「異臭」「発泡」「着色」「廃棄物投棄」などと分類し対処する場合がある。水質事故発見の自動化のためには，それぞれの現象に適した手段と方法を適用する必要がある。

2.2　センサ技術と河川水質管理システム

水質事故のうち魚浮上事故は住民による発見が多く，この場合の通報は最初，市役所・消防署など身近な機関に通報され，管轄する河川管理者への通報が後になり，対応の遅れが問題とされている。また，油類や有機溶媒の流出の場合，住民からの通報が少なく浄水場取水点で発見される場合や水道利用者からの異臭味の苦情によりはじめて気付くケースがあり，やはり大きな問題とされている。いずれにしろ，夜間に事故が発生した場合，住民などによる通報も期待できず，自動的な検出が強く望まれている。

水質事故は危険物の保管場所のマップ化などにより，ある程度の可能性は認識できても具体的にいつ発生するかは予測不可能であり，事後対策を余儀なくされている。したがって，いかに早く事故を発見し，事故状況から処置方法を決め，すばやく対策を実行できるかが重要になってくる。

水道事業体では従来，自衛のため，24時間，職員による取水口のITV監視や水槽に飼育している魚の行動監視を行ってきた。しかし，いつ発生するか分からない事故を職員が監視することは不確実性があることと不経済なこと，

福田　政克

上下水道用電気・計装システムおよび燃料電池発電システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部新事業推進部主席。

田中　良春

バイオセンサの研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所水処理・バイオ研究所化学・バイオ計測器グループ主任研究員。

図１ 河川水質管理システム

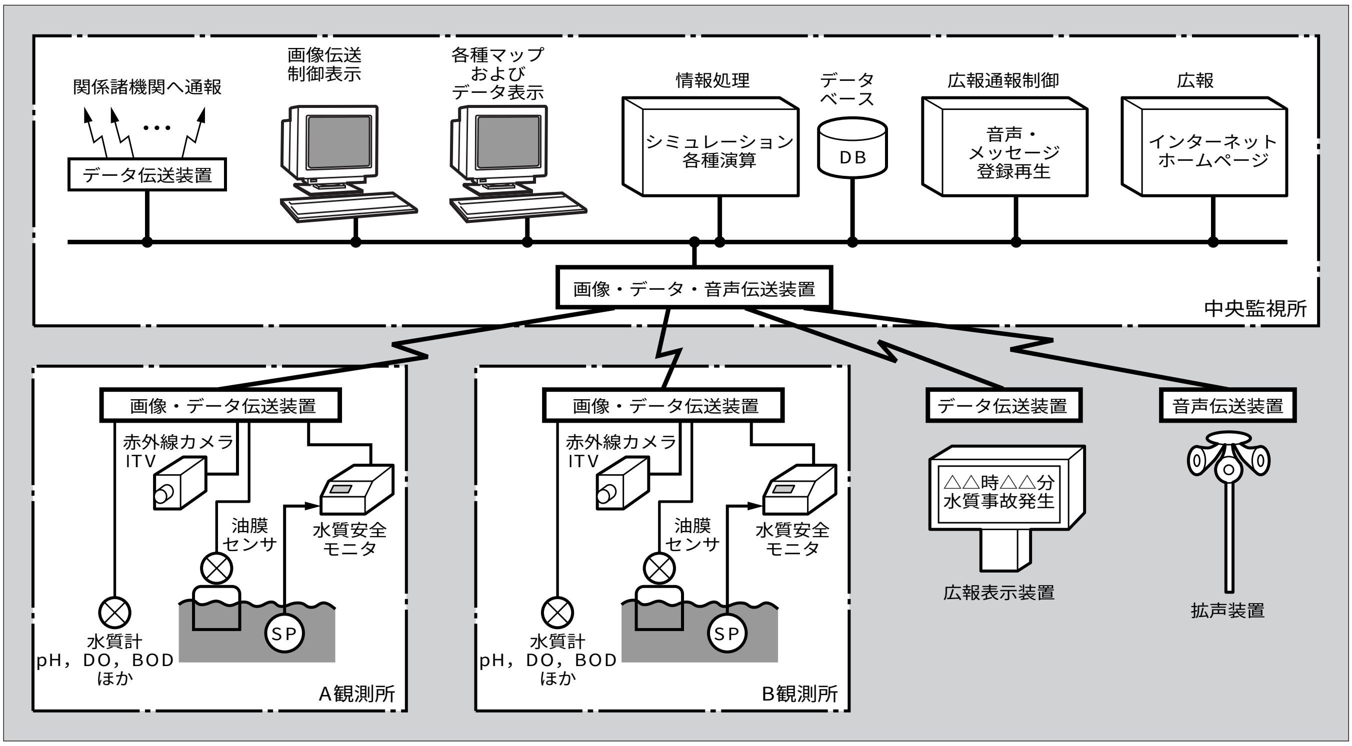


表１ 水質事故現象・原因と検出手段

区分	現象・原因	検出手段
外面的異常	魚浮上	ITV
	油類流出，油膜	油膜センサ，赤外線カメラ
	発泡	ITV
	着色	着色度計
	異臭	（住民による通報）
	廃棄物投棄	ITV
成分的異常	油類流出，油分	油分センサ
	フェノール類流出	フェノール計，バイオアッセイ
	シアン流出	シアン計，バイオアッセイ
	アンモニア流出	アンモニア計
	酸・アルカリ流出	pH計
	諸毒物流出	魚類行動監視，水質安全モニタ（バイオアッセイ）
	諸有機物流出	UV（Ultraviolet）計 COD（Chemical Oxygen Demand）計 BOD（Biochemical Oxygen Demand）計

特に事業体にとって夜間勤務者の削減は大きな課題となっており，水質事故の検出の自動化が強く求められてきた。また，事故発生の広域化から水系全体での汚染状況の把握および関係先への通報，また処置内容の判断基準を与えるために河川水質管理システムの必要性も増してきている。

水質事故検出用センサは，事故を的確にとらえるため各種現象に対応し検出手段を使い分ける必要がある。**表１**に現象または原因に対応する各種検出手段を示す。富士電機はこれらの検出手段を駆使し，適用先の条件に応じた最適なシステムを提供している。

さらに，富士電機は各種センサ，データおよび画像伝送装置，各種表示装置，データベース装置，広報・通報装置などから構成される河川水質管理システムを提供している。**図１**にそのシステム構成を示す。河川水質管理システムは以下の業務を支援するものとしている。

(1) 事故の発見および被害状況の確認
(2) 事故物質および汚染源の特定
(3) 被害範囲の予測
(4) 事故処理方法の決定，局所化および無害化
(5) 関係者への通報，住民への広報
(6) 被害額算定

３ センサ技術の開発

突発性水質事故を検出する手段には大きく分けて，理化学的検出方法と生物学的検出方法があり，富士電機はそれぞれの方法について開発を進めてきた。

3.1 理化学的検出方法

理化学的検出方法の代表的な対象物質としてシアンや油膜があげられる。シアンの検出にはイオン電極法が用いられ，油膜の検出にはレーザ光などの光の反射量の変化を検出する方法が用いられている。しかしながら，他の多数にわたる有害化学物質を個別に常時監視することは，コスト面や技術面から現状ではきわめて難しいといえる。

油汚染を検出する方法として，これまで反射光量の変化から油膜を検出する油膜計や溶媒により油分を抽出して検出する油分計が実用化されている。しかし前者には波の影響を受けやすく，検出できる油膜厚が 1 μm 以上とされ，

図２　偏光解析による油膜検知（原理図）

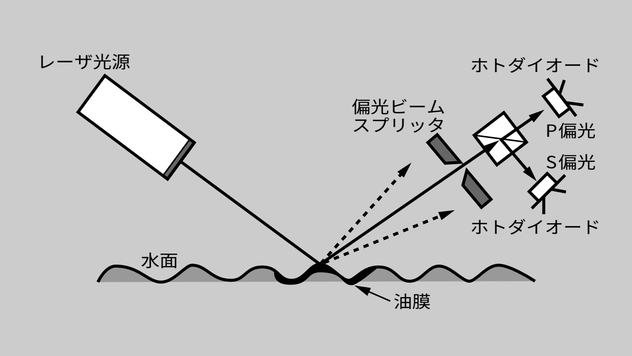


図３　水質安全モニタの外観

A7154-18-104

後者では試料をサンプリングして分析する必要があり，即時性に欠ける。

富士電機では非接触で感度よく油膜を検出するために，レーザ偏光解析法を応用したセンサを開発中であり，今後フィールドテストにより実証していく。この方式では１µm以下の厚さの油膜を波によらず安定的に検出することを狙っている。原理を**図２**に示す。

3.2　生物学的検出方法

生物学的検出方法は，毒性物質の特定はできないものの生物に有害な物質を未規制の物質をも含め，総括的に検出できる利点がある。しかしながら生物学的検出方法の一つとして従来から採用されてきた魚類の行動を監視するという方法の場合，判定のあいまい性や人間による連続的監視が必要などの短所があった。

富士電機では建設省土木研究所と共同研究の過程で考案した硝化細菌の呼吸阻害による有害物質の検出法を応用し，急性毒性物質自動監視装置（水質安全モニタ）を製品化した。

4　水質安全モニタ

4.1　製品の概要

水質安全モニタ（**図３**）は，バイオ技術を利用し，水中の急性毒物を自動的に検知し，警報出力する連続水質モニタリング装置である。**図４**に機能構成を示す。

(1)　測定原理

図４　水質安全モニタの機能構成

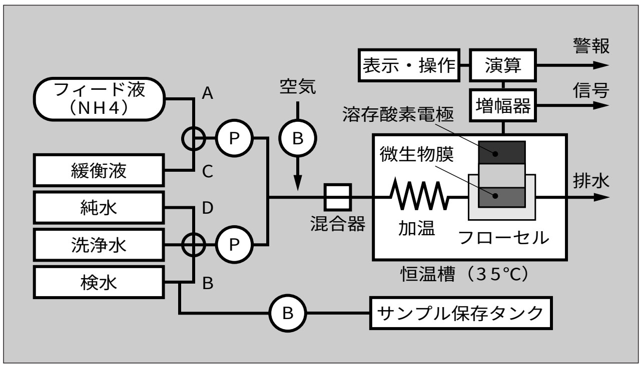
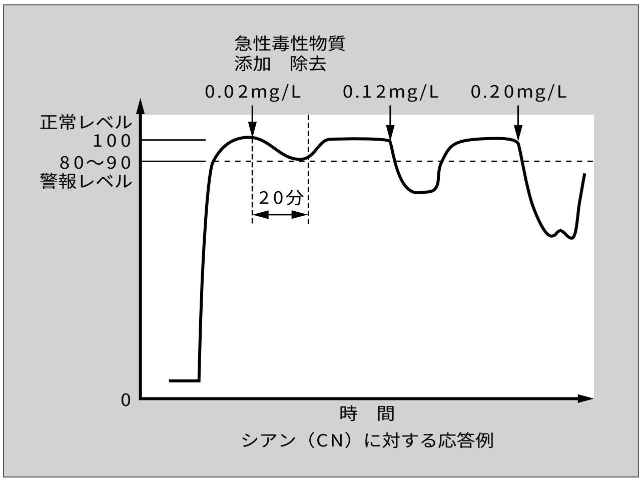


図５　水質安全モニタの毒物応答例



水質安全モニタは，急性毒物に対してきわめて感受性が高い硝化細菌（ニトロソモナス）約10^8個/cm^2を固定化した微生物膜と溶存酸素電極でセンサ部を構成する。このセンサ部に一定濃度のアンモニア溶液を添加した検水を供給すると，硝化細菌が基質（えさ）となるアンモニアを亜硝酸に変換し，その際に検水中の溶存酸素が消費される。検水中に毒物が存在する場合は，硝化細菌の呼吸活性が阻害され，酸素消費量が低下する。

本モニタでは，この溶存酸素量の変化を監視することで毒物混入の判定を行っている。検知可能な毒物は，シアンのほか，ベンゼン・フェノールなどの低沸点有機化合物，チウラム・EPN（Ethyl Para Nitrophenyl）などの農薬であり，水銀・カドミウムなどの一部の重金属についても検知できる。また，酒，砂糖，しょうゆ，塩などの人間にとって無害な物質には感応しない。シアンに対する応答例を**図５**に示す。

(2)　特　長

水質安全モニタは他の方式に比べ以下の特長をもつ。

(a)　急性毒物の連続モニタリングが可能である。

(b)　毒物流入に対する応答時間が速い（20分）。

(c)　魚類半数致死濃度に比べ，より低濃度の毒性物質の検知が可能である。

(d)　微生物膜の交換は１か月に１回でよく，ユーザーでも容易に行える。

表２　水質安全モニタの仕様

項　目	仕　様
検出対象	シアン，ゴルフ場農薬，メタノール，アセトン，フェノール類，次亜塩素酸ソーダなど一部の重金属（水銀，カドミウムなど）に感応
検出可能濃度（例）	シアン0.05mg/L，チウラム0.5mg/L，フェノール0.7mg/L
応答時間	約20分以内
試　　薬	フィード液，ホウ酸系緩衝液，洗浄液
試薬消費量	約0.5mL/min
検水流量	約3.5mL/min
試薬容器容量	フィード液30L×1，洗浄水5L×1，緩衝液5L×1，純水5L×1
保存採水量	2L（精密分析用）
警報出力	毒物検出，システム異常（各1a接点出力）
点検用出力	相対酸素消費率0〜100%/DC4〜20mA（絶縁出力）
電　　源	AC100V±10%
周囲温度	5〜35℃
設置場所	屋内設置および屋外設置（非標準）
微生物膜交換	周期：1回/月

(e)　検水の自動保存機能があり，後日他の分析計で毒物の特定が可能である。

(f)　取扱いが簡単であり，水質の専門家が不在でも毒物監視が可能である。

(3)　仕　様

このたびモデルチェンジを行った。主な機能強化事項は以下のとおりである。また製品仕様を**表２**に示す。

(a)　濁度除去装置として中空糸膜除濁装置を開発し，1,000度程度の高濁度水でも安定な測定を可能とした。

(b)　従来のリン酸緩衝液に換えて，ホウ酸緩衝液を採用した。これにより，硬度の高い試料液でも安定な測定が可能になった。またホウ酸緩衝液は溶解速度が速いため，試薬の調製が容易である。

4.2　水質安全モニタの導入例

水質安全モニタは，これまで８事業体に延べ13台納入した。このうち上水道水源管理用が12台で，河川水質管理用が１台である。上水水源管理用に導入されたものは，水質事故が発生する確率が高い都市部の河川から取水する事業体や，逆に毒物が混入した場合希釈されにくい中小河川から取水している事業体に導入される例が多い。また汚染物質の地下浸透に配慮し，井戸水に適用される場合がある。

水質安全モニタは，ほとんど，毒物検出の確実性と省力化のため導入されている。導入された浄水場ないし取水場ではすでに毒物流入の指標として魚類を飼育している。しかし魚類を昼夜間にわたって職員が監視することは相当負担になっていた。

水質安全モニタが設置された取水ポンプ場などでは，テレメータにより他所にある中央監視所から水質事故監視が可能となる。特に勤務者の確保しにくい夜間において，取水源の水質事故発生を自動的に検出しアラームを出力できることは，浄水場の管理運営にとって大変大きなメリットとなる。

(1)　上水水源管理への応用例

あきる野市にある東京都水道局の浄水所（2か所）に水源管理用として水質安全監視システムを納入した。あきる野市は平野部から山間部に移行する東京都の西端に位置し，渓谷や山の自然を求め多くのハイカーが訪れる観光名所ともなっている。取水は秋川水系から行っており，水質事故の迅速な発見を狙い水質安全モニタが導入された。**図６**にシステム構成を示す。

それぞれの浄水所では，着水井の原水をサンプリングし装置に供給している。サンプリングされた検水は濁度分を除去するため中空糸膜沪過装置を通し水質安全モニタ本体に供給されている。同時に検水はヒメダカを飼育している水槽に導かれ，ヒメダカの行動をITVで監視できる。水質安全モニタからの警報はテレメータにより中央監視所に送られる。また，同時にITVで撮影された映像も動画として中央監視所に送られる。水質異常が発生するとヒメダカの画像は自動的に録画される。画像伝送装置の仕様を**表３**に示す。

(2)　河川水質管理への応用例

水質安全モニタを比較的汚濁度が高い河川の水質管理へ適用するため，建設省土木研究所と共同で関東地方建設局江戸川工事事務所管内の中川支川，綾瀬川の槐戸（さいかちど）水質自動観測所に装置を設置し，実証実験を行っている。装置は３週間に１回の定期的メンテナンスにより安定に稼動し，この間有害物質への感度も良好に維持され，突発性の河川水質事故監視に十分適用できることが確認された。

さらに，水質事故の発生頻度が比較的多いとされる支川部に屋外自立形水質安全モニタを多点設置することによりタイムラグのない事故検知を期待できる。

5　バイオアッセイの展開

一般に，生物材料を用い，その生物学的応答から生物への作用量を評価する方法をバイオアッセイと呼ぶ。

バイオアッセイは，①水の生物に対する毒性そのものの評価，②毒性物質の一次スクリーニング，③水処理効果の判定，などにきわめて有効な手法であり，欧米においては，すでにバイオアッセイが排水規制やリスクアセスメントに適用されている。日本においても今後従来の方法を補完する新しい水質評価手法としてその重要性が高まることが予想される。**表４**にバイオアッセイの概要を示す。

富士電機は，各種毒性物質に対する微生物を用いたバイオセンサの感度のデータベース化を図るとともに，慢性毒性レベルの低濃度の有害化学物質を検出できる，より高感度なバイオアッセイ法の開発に取り組んでいく。これにより飲料水に含まれる極微量物質の生物に与える慢性的毒性の影響を評価する方法を確立していく。

図６　東京都水道局納入水質安全監視システム

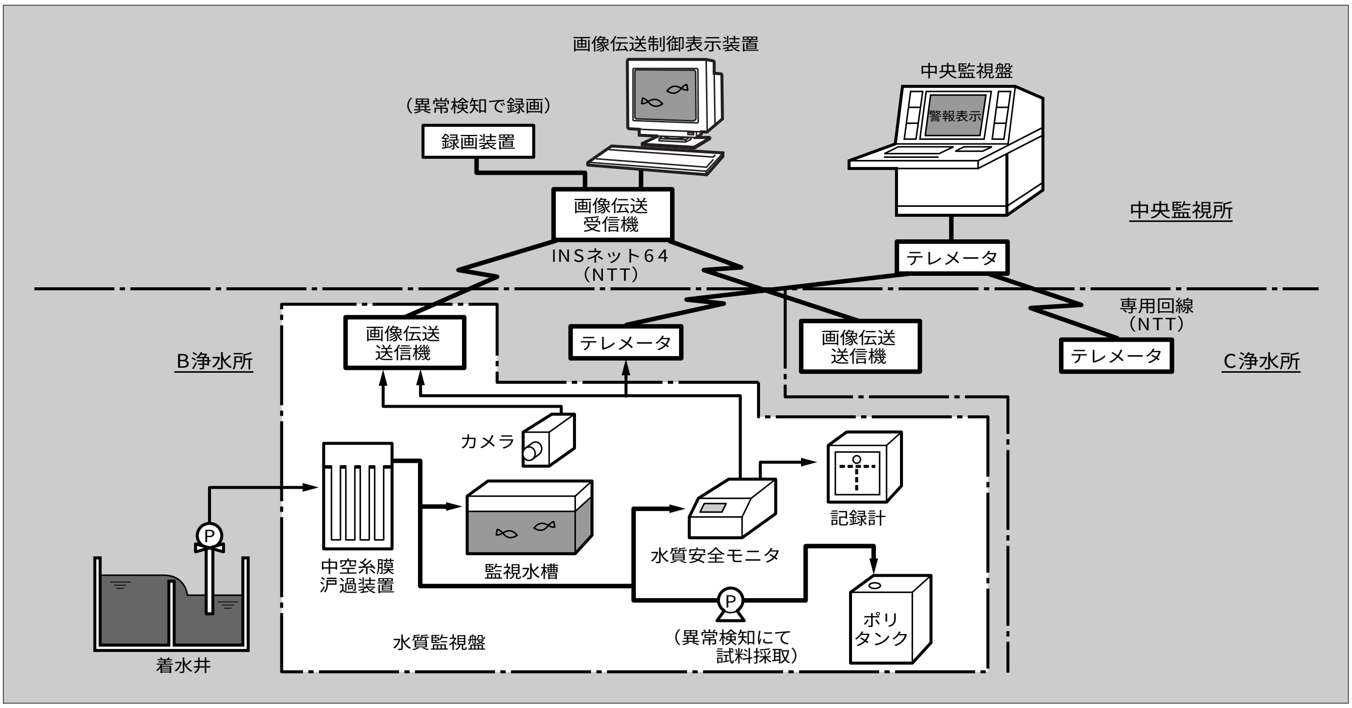


表３　画像伝送装置の仕様

項　目	仕　様
名　　　　称	NTTスコープポートD64JX
回線 インタフェース	INSネット64　P-mP接続
回　線　速　度	64kビット/秒（映像通信時）
映 像 入 出 力	信号形式：NTSC/EIA信号 信号レベル：IV［p-p］75Ω不平衡
符 号 化 方 式	送信機：JPEG符号化方式 受信機：JPEG/DCT/SCENE/DPCM符号化方式
解　像　度 （JPEG符号化 方式の場合）	水平　　　垂直 高速モード：192ドット×120ライン（0.5秒/画面） 標準モード：384ドット×240ライン（1.5秒/画面） 静止画モード：768ドット×480ライン（5秒/画面）
外　形　寸　法	約220×360×240（mm） 送信機，受信機とも

表４　バイオアッセイの概要

試験種類	試験対象・方法	目　的
動　物　実　験 （生物個体）	○マウスほか	基準値作成 発がん性
遺伝毒性試験 （細胞）	○エームス試験 ○ウムテスト ○レックアッセイ ○小核試験	慢性毒性
細胞毒性試験 （細胞）	○樹立培養細胞株 ○単離培養細胞	慢性毒性
	○微生物 （細菌，酵母）	急性毒性 連続検知可能
水生生物試験 （生物個体）	○魚類 ○藻類 ○貝 ○ミジンコ，昆虫	急性毒性 連続検知可能

6　あとがき

水道利用者は異臭味がなく化学物質などに汚染されていない安全でおいしい水を求めている。水道事業体はその期待にこたえるため，オゾンによる高度処理など浄水処理に各種の工夫・改善を施している。しかし浄水場内処理だけでは改善に限度があり，1994年に制定された水道水源２法に見られるとおり，水源水質の向上が強く求められている。

富士電機はこれらの背景のもとに，突発性水質事故に対する水質センサや管理システムを開発すると同時に，定常的な水質汚染に対してはアンモニア計，BOD計，全窒素計，高感度濁度計，トリハロメタン計などの各種水質センサを開発してきた。さらに，凝集処理システムやオゾン処理システムなどの制御技術や浄水処理技術についても開発し実用化している。富士電機は今後とも水環境および浄水処理に求められるセンサ技術およびシステム技術の開発・発展に取り組んでいく。

最後に，開発改良にあたりご指導・ご鞭撻を賜った関係研究機関およびユーザー各位に深甚な謝意を表する。

参考文献

(1)　建設省ホームページ：水質事故処理対策，http://www.river.or.jp/kasenhou/hou6.html
(2)　多田弘ほか：河川水質管理システム・給水水質モニタリングシステム，富士時報，Vol.70，No.6，p.307-313（1997）
(3)　瀬戸秀昭ほか：相模川における水質汚染事故に対する対応，水道協会雑誌，Vol.65，No.2，p.2-11（1996）
(4)　建設省建設技術協議会技術管理部会水質連絡会編：水質事故対策技術，技報堂出版（1995）
(5)　田口和之ほか：硝化菌バイオセンサを用いた河川水質事故のモニタリング，水環境学会年会予稿集（1998）

下水道プロセスにおける計測制御技術

高見澤 真司（たかみさわ　しんじ）　夜明　徹（よあけ　とおる）　青木　隆（あおき　たかし）

1　まえがき

現在，来るべき21世紀の豊かで安全な市民生活の充実に向けてより一層の社会資本整備が進められており，下水道事業においても，西暦2000年度末をめざして第 8 次下水道整備 5 箇年計画が推進されている。この計画の目標は次のとおりである。

(1)　処理人口普及率を66%とする。

(2)　下水道雨水対策整備率を55%とする。

(3)　高度処理人口を 1,500 万人とする。

本稿においては，(1)項の目標に関連して「下水用凝集センサを用いた脱水用凝集剤注入制御」について，(2)項の目標に関連して「降雨情報・流入予測を用いた雨水ポンプ制御」について，(3)項の目標に関連して「高度処理運転支援」について紹介する。

下水用凝集センサを用いた脱水用凝集剤注入制御は，汚泥性状に合わせた最適な薬品注入を実現することにより発生汚泥の性状の安定と発生汚泥量の減少を目的とするもので，処理人口普及率向上に伴う発生汚泥量の増加に対応した汚泥処分問題に寄与するシステムである。

降雨情報・流入予測を用いた雨水ポンプ制御は，都市化の進展に伴う雨水流入傾向の急しゅん化に対してより早期の段階で降雨情報を基にした流入予測を行うことにより安全かつ安定した雨水排除を可能とするもので，特に本システムは気象庁のレーダ雨量情報を活用した比較的導入しやすいシステムである。

高度処理運転支援は，高度処理プロセスの主流である生物処理においてその生物代謝環境を適切に保つために，例えばシミュレーションにより運転指標を策定したり処理の何らかの異常時に復旧方法のガイダンスを提示するなどの機能を実現するもので，熟練が必要とされる生物高度処理プロセスの維持管理を支援するシステムである。

2　下水用凝集センサを用いた脱水用凝集剤注入制御

2.1　システムの目的

下水道プロセスにおける汚泥処理の基本は次のとおりである。

(1)　水処理で発生した汚泥中の固形物を分離し減量する。

(2)　汚泥性状の安定化を図る。

(3)　下水汚泥を資源として利用するために，加工および調整する。

このなかで(1)および(2)を実現するには，脱水機の種類，汚泥の性状や脱水機の性能に合わせた凝集剤の種類，さらに汚泥の乾燥固形物濃度（SS 濃度）に適した凝集剤の注入率を決める必要がある。特に，凝集剤の注入率の決定は，現状では，ビーカーテストなどの手分析による決定が主流である。したがって，汚泥の SS 濃度の変動に追従した最適な凝集剤注入率を常に維持することは現状では困難である。

このような背景のもと，富士電機では，(株)石垣と共同で，脱水前の汚泥凝集の最適状態を検出するセンサの開発と，このセンサを使って汚泥性状の変化に対応して凝集剤注入をオンラインで連続自動制御できる下水脱水用凝集剤注入制御システムの開発に取り組んできた。

以下に，下水脱水用凝集センサとそれを使った制御方法について説明する。

2.2　下水脱水用凝集センサ

(1)　計測原理

下水脱水用凝集センサの計測原理は，富士電機ですでに製品化した上水用凝集センサの吸光度変動解析法である。ただし，上水用ではアルミニウム水酸化物の検出のための紫外光（254 nm）と濁質検出用の赤外光（860 nm）が必要であったのに対して，下水汚泥用では，赤外光（820 nm）でフロックの検出が十分可能である点が異なる。したがって，下水汚泥用では単波長の吸光度変動解析法を適用した。基本的な演算値は，以下の式(1)，式(2)に示すフ

高見澤 真司

上下水道の電気，計装，コンピュータシステムの企画，設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部課長。

夜明　徹

上下水道の電気，計装，コンピュータシステムの企画，設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部課長。

青木　隆

上下水道の電気，計装，コンピュータシステムの企画，設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部主任。

図１　下水用凝集センサのセンサ部

ロックの平均粒径 D と個数濃度 N であり，さらに後述する理由から，式(3)から体積率 C_V を計算し，これを主たる出力とした。

$$D=\sqrt{\frac{4A\sigma^2}{\pi QE_{\mathrm{m}}}} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$N=V\left(\frac{E_{\mathrm{m}}}{\sigma}\right)^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$C_V=\frac{\pi D^3 N}{6} \quad \cdots\cdots (3)$$

ここで，

σ　：吸光度変動の標準偏差（—）

E_{m}：吸光度の平均値（—）

A　：光ビームの有効断面積（cm^2）

Q　：光散乱係数（—）

V　：体積係数（—）

である。E_{m} と σ は透過光量を対数化して得られる吸光度の所定時間（サンプル数）の統計量である。実際には，吸光度 E_{m} は試料液中の長光路（20 mm）の吸光度の平均値 E_{ml} と短光路（10 mm）の吸光度の平均値 E_{ms} の差から計算される。こうすることによって，光学窓の汚れによる吸光度の見掛けの増大を補正することができる。

センサ部の外観を**図１**に示す。円形の底面に見える四つの突起は，光路長の異なる２対の光照射・受光プリズムボックスで，変換器にある光源から光ファイバによって伝送された近赤外光を試料液中に照射し，受光した光を光ファイバに入射させるものである。

(2)　凝集状態の計測方法

本来，凝集状態を直接的に反映しているのは，凝集混和タンク内部のフロックである。しかし，下水汚泥の場合にはタンク内の光の透過率はきわめて少なく，計測は困難である。そこで，脱水機の沪水中のフロック［透過残渣（ざんさ）成分］を測定することによって，間接的に凝集状態を知る方法を考案した。

残渣のフロック粒径，個数濃度および体積率と，脱水汚泥（ケーキ）の含水率の関係を，薬品注入率を変化させて調べた結果，**図２**に示すように，体積率の最小値と含水率の最小値がよく一致することを見いだした。

この関係は，生汚泥や消化汚泥など種々の汚泥について同様の傾向を示すことを確認した。

これらの結果から薬品注入率を低く抑え，安定した処理が可能である。

図２　薬注率変化による脱水ケーキの含水率と体積率

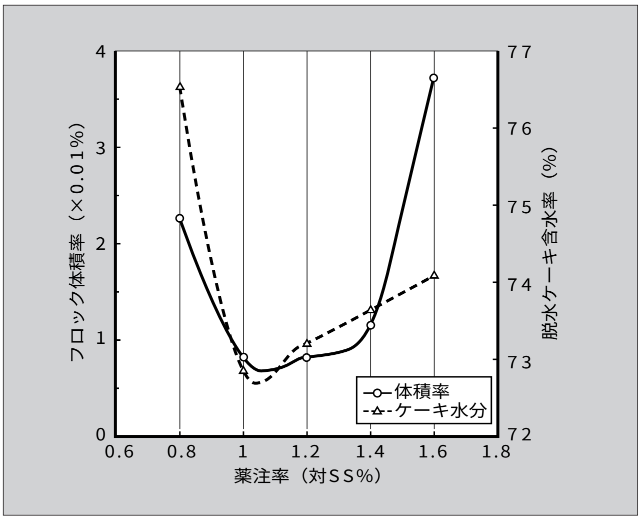
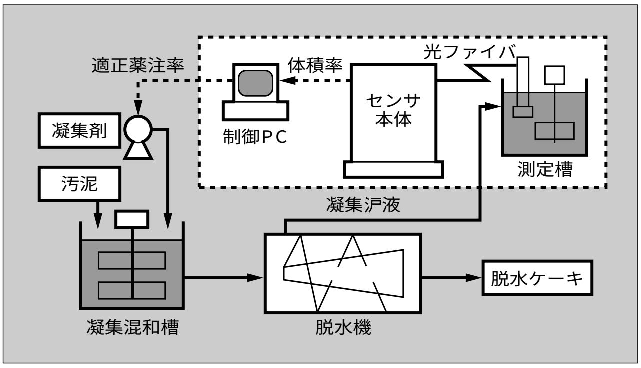


図３　凝集剤注入制御システムの構成



2.3　下水脱水用凝集剤注入制御システム

図３は，上述した下水脱水用凝集センサを用いた下水脱水用凝集剤注入制御システムの構成である。このシステムは脱水機からの沪水をシステムの測定槽に導入し，前述の凝集センサのセンサ部で，沪水中の残渣フロックの体積率を連続測定する。コントローラ部は凝集センサの体積率出力が常に最小値となるように凝集剤注入率を自動的に調整する。

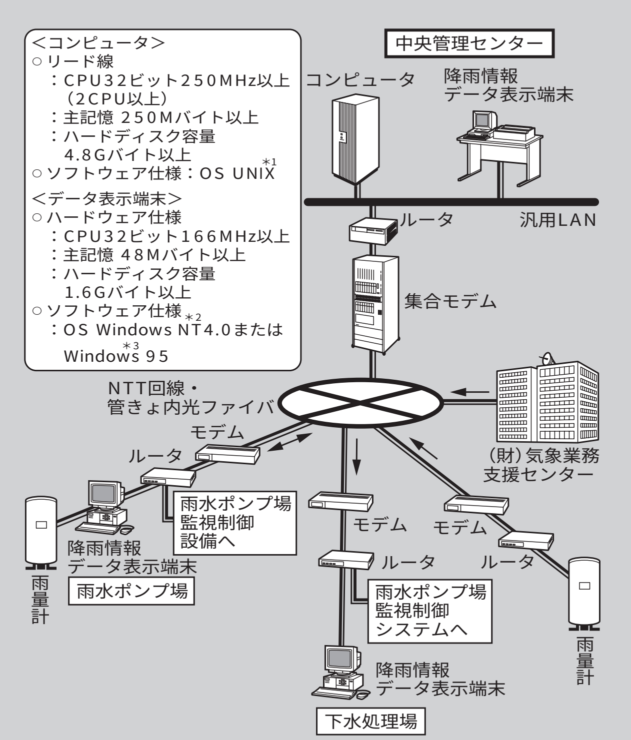
このシステムの導入によって，

(1)　凝集剤注入率の最適制御が実現でき，薬品コストの低減化が図れる。現在，実験段階ではあるが高分子凝集剤の約10%の低減が図れた。

(2)　注入率の決定が自動化されるために，煩わしい手分析の頻度が軽減され，特に従来，脱水機のサイドリーク防止のために頻繁に行っていたジャーテストによる凝集状態のチェックが不要になる。

(3)　流入負荷変動の大きい処理場でも，汚泥性状に合わせて最適注入率が実現できる。特に本システムでは，汚泥性状の変化にかかわらず残渣フロックの体積率が最少と

図４　降雨情報システムの全体構成



＊1　UNIX：X/Open Company Ltd.がライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標
＊2　Windows NT：米国Microsoft Corp.の登録商標
＊3　Windows：米国Microsoft Corp.の登録商標

なるよう制御するため，薬品注入率を低く抑えながら安定した処理が可能となる。

などのメリットが期待できる。

現在，このシステムはベルトプレス脱水機およびスクリュープレス脱水機で実証試験を継続中で，良好な結果を得ている。

3　降雨情報・流入予測を用いた雨水ポンプ制御

3.1　システムの目的と全体構成

レーダ雨量計による降雨情報システムは，下水道におけるポンプ場などの運転管理や人員の配備計画に利用され，特定区域の短時間降雨予測の精度向上が求められている。

また，一方降雨情報システムからの情報を利用した雨水流入予測，浸水予測，さらには雨水ポンプの最適自動制御システムの研究，開発が行われており，将来的には，これらのシステムが下水道施設のなかで重要な役割を果たすものと推測される。

しかし，これらのシステムの導入は，特にレーダ施設を建設するための費用が高額であることから，現在までのところ大都市に限られている。

ここでは，(財)気象業務支援センターが行っている気象データオンラインサービスを利用し，容易にレーダによる降雨監視と降雨予測，さらには，ポンプ場流入予測，ポンプの最適運転計画を立案するシステムを紹介する。

図４にシステムの全体構成を示す。

本システムは，降雨予測・流入予測・ポンプ制御用のコンピュータ設備，パーソナルコンピュータ・ワークステーションによる監視・操作用表示端末，(財)気象業務支援センター，各ポンプ場と地上雨量計との信号伝送をつかさどるモデム装置とルータ，各ポンプ場・処理場に設置するデータ表示端末から構成される。

また，機能としては，大きく分けて以下の三つで構成される。

(1)　降雨予測

(財)気象業務支援センターから配信されるデータならびに地上雨量計データにより，降雨状況の表示・降雨予測を行う。

(2)　雨水流入予測

(1)の降雨予測を基に，ポンプ場，処理場に直接流入する雨水量を予測する。

(3)　ポンプ自動制御

(2)の雨水流入予測データを基に，各ポンプ場，処理場のポンプの最適運転計画を立案する。

以下，それぞれの機能の詳細を説明する。

3.2　降雨情報システム

本システムは，気象庁が観測し，(財)気象業務支援センターが気象データオンライン配信サービスとして提供したレーダエコー強度情報（レーダ雨量）をNTT［日本電信電話(株)］専用回線を経由して受信し，メッシュごとの降雨強度に変換，さらに精度向上を図るため，地上雨量計データを基にオンラインキャリブレーションを行い，以下の機能を実現している。

(1)　降雨状況表示

500 km × 500 km，100 km × 100 km，30 km × 30 km区域の現在降雨強度を 2.5 km × 2.5 km ごとに15段階で地図上に色表示

(2)　降雨履歴再生表示

過去24時間の雨域の移動と降雨強度の変化を(1)と同様に表示

(3)　降雨強度・積算雨量表示

過去24時間の降雨強度のトレンドグラフ表示，積算雨量の棒グラフ表示

(4)　降雨予測

移流モデルによる最大１時間先までの降雨予測と表示（予測間隔10分）

3.3　移流モデルによる降雨予測システム

雨水ポンプの制御に適用する降雨予測は，対象地域が比較的狭く，短時間（30〜60分）先の予測ではあるが，高い予測精度が要求される。

本降雨情報システムでは，降雨予測単位（2.5 km × 2.5 km メッシュの範囲）ごとに降雨移動方向（移流ベクトル）を求めることのできる移流モデルを採用し，降雨予測精度の向上を図っている。移流モデルでは，式(4)で表された移流方程式のパラメータを，観測時間の異なる複数の受信降

図５　移流モデルによる降雨予測

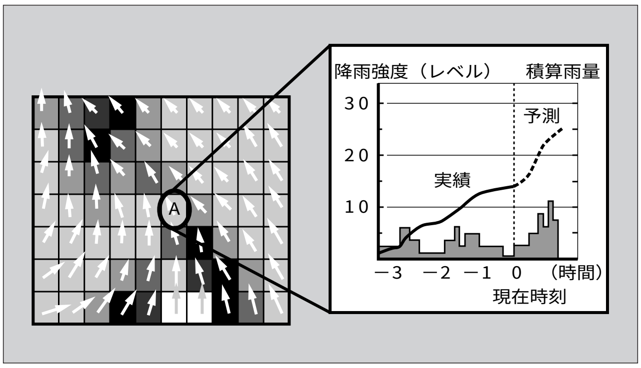
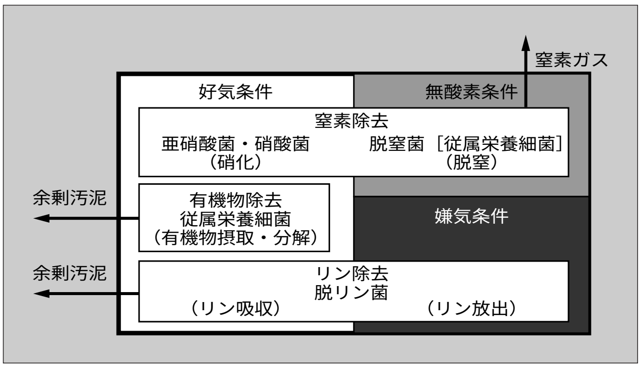


図６　高度処理に関与する微生物の種類と除去メカニズム



雨強度データを用いて同定し，移流ベクトル（u，v）と雨域の成長・減衰（w）をメッシュごとに求めることができる。これにより，雨域の移動，回転，成長，減衰の状況を自動的に解析し，予測精度の向上を図ることができる。**図５**にその例を示す。左側のメッシュ内の矢印が移流ベクトルを示し，矢印の方向が移動方向を，矢印の長さが移動速度を表している。

$$\frac{\partial R}{\partial t}+u\frac{\partial R}{\partial x}+v\frac{\partial R}{\partial y}=w \quad \cdots\cdots (4)$$

ただし，

R ：降雨強度（mm/h）
t ：時間（min）
x, y ：位置（km）
u ：x 方向速度（km/min）
v ：y 方向速度（km/min）
w ：成長・減衰項（mm/h/min）

本降雨情報システムでは，雨域がこのベクトルにより移動するものとして，10分間隔で１時間先まで予測する。

3.4　雨水流入予測システム

降雨情報システムより得られたデータをもとに，本システムでは，30分先のポンプ場雨水流入量の予測を行うことが可能である。

本システムにおける流入予測手法は，大きく分けて次の二つの部分からなっており，モデル化，調整（実流入量による）が容易で比較的安価なシステムでも実現可能である。

(1)　雨水の排水区域を部分流域に分割し，各部分流域ごとの流出量を修正 RRL 法で求める。
(2)　各部分流域からポンプ場までの流下遅れを同一管内であれば流速一定（等流モデル）として扱い算出する。

なお，上記の修正 RRL 法とは，英国道路研究所で開発された雨水流出量を算定する RRL 法に浸透域と不浸透域を区別した有効降雨量の補正を加えた雨水流出量の算定方法である。

3.5　雨水排水ポンプ自動制御システム

下水処理場，ポンプ場における流量制御は，下水処理の安定化，効率化，ポンプ運転の省エネルギー化，雨天時の汚濁負荷の低減化などの点から重要である。そのためには，流入流量変動の予測が必要であり，特に，流動変動の大きい降雨時の雨水流量予測が重要になる。

本システムでは，上記流入予測機能により処理場，ポンプ場ごとの流入量の予測を行い，各施設の処理能力（ポンプ井容量やポンプ吐出量など）からポンプの最適運転計画を立案する。計画立案の手法としては，DP 法，ファジィ適応制御を用いている。

4　高度処理運転支援

4.1　システムの目的

下水道プロセスにおける高度処理とは，有機物除去率の一層の向上と，富栄養化防止のための窒素・リン除去を指しており，処理法としては，生物学的方法，物理化学的方法と生物法の併用などが実用化されている。なかでも，生物学的方法は，凝集剤の添加が不要であるため，汚泥発生量が少ない，運転コストが安いなどの観点から注目されているが，維持管理に熟練を要することが課題だとされている。

図６は有機物，窒素，リンの同時除去を行う場合に関与する微生物の種類，生育条件，除去メカニズムを示したものである。4 種類の微生物（従属栄養細菌，亜硝酸菌，硝酸菌，脱リン菌）と 3 種の生育条件（好気，無酸素，嫌気条件）を適切に管理する必要があることが分かる。従来，こうした複雑な高度処理プロセスの運転は経験豊富な技術者に頼ってきた。これに対して富士電機では各種微生物反応のシミュレーションを行うことにより下水処理の経験の浅い技術者でも高度処理プロセスの運転ができるように支援システムを開発中である。

具体的には下記の効果を想定している。

(1)　最適運転条件の決定，運転条件に対応した処理水質予測ができる。
(2)　処理水質不良時に最短回復手順が提案できる。
(3)　シミュレータとして管理要員の教育に利用できる。

4.2　モデルの概要とシミュレーション結果

4.2.1　基本モデル

図７にシミュレーション基本モデルである IAWQ Model No.2[(1)] の概要を示す。流入下水中の有機物は，加水分解性

図７　IAWQ Model No.2 の概要

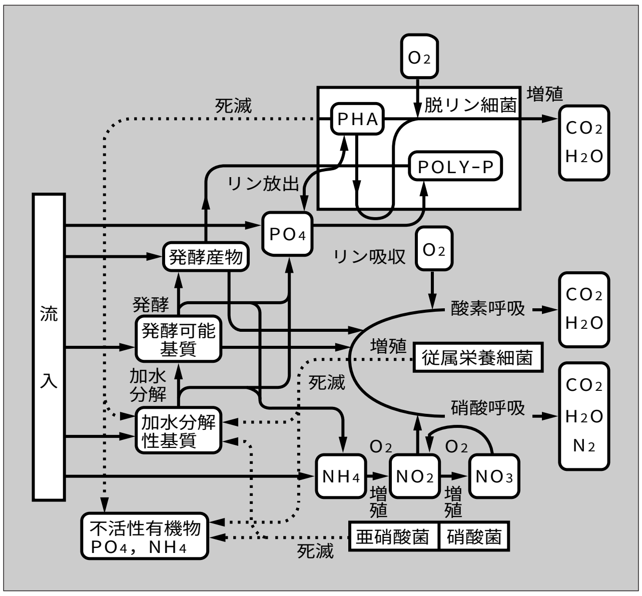
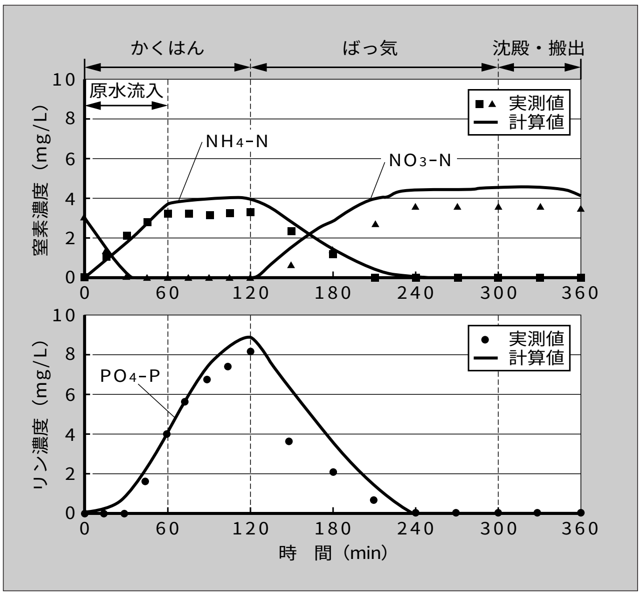


図８　回分式活性汚泥のシミュレーション結果



基質，発酵可能基質，発酵産物の３成分からなっており，加水分解性基質は処理の過程で発酵可能基質に変化し，これはさらに微生物に利用しやすい発酵産物に変化する。従属栄養細菌は，酸素の存在する条件（好気条件）では酸素呼吸をしてエネルギーを獲得し増殖する。

窒素除去に関与する亜硝酸菌は好気条件でアンモニア性窒素を亜硝酸性窒素に変え，硝酸菌は，亜硝酸性窒素を酸化し硝酸性窒素に変えていく。ここで生成した硝酸性窒素は，無酸素条件において従属栄養細菌（脱窒菌）の硝酸呼吸により酸素を奪われ窒素ガスとなる。リン除去を行う脱リン細菌は，嫌気条件でポリリン酸を加水分解してリンを放出し，同時にエネルギーを獲得して発酵産物を体内に貯蔵する。また，好気条件ではこの発酵産物を利用して増殖し，併せて水中のリンを吸収し，ポリリン酸として貯蔵する。

本モデルは15成分，17反応からなる連立微分方程式として記述され，数値計算により解析される。

4.2.2　富士電機のモデルとシミュレーション結果

富士電機のモデルは上記モデルを基本としているが，下記の特徴を有する。

(1)　脱リン菌に脱窒機能を入れてモデル化しており，リン処理の予測精度が高い。

(2)　活性試験に基づいて微生物量を決めるため水質の予測精度が高い。

(3)　処理の非定常過程（微生物の増殖から安定化まで）をモデル化しており，適用範囲が広い。

図８に一例として，回分式活性汚泥法による窒素，リン除去を示す。実験条件は，かくはん２時間，ばっ気３時間，沈殿30分，排出30分の計６時間が１サイクルであり，１日４サイクル運転で滞留時間は24時間である。

図８に示すように，アンモニア性窒素（NH_4-N）と硝酸性窒素（NO_3-N）の変化は，実験とシミュレーション結果がよく一致している。正リン酸性リン（PO_4-P）も比較的よく再現されているが，サイクル開始直後の30分間において，実験値は零であるがシミュレーションでは濃度の上昇が見られる点に課題が残っている。

このように，処理水質のシミュレーションは実データと計算結果がかなりよく一致するところまで進歩しているが，まだ改良の余地があるのも事実である。

4.3　運転支援システムの利用

高度処理プロセスのシミュレーションによる運転支援は，上記の回分式活性汚泥法や，富士電機が独自に開発した２槽式間欠ばっ気法[(3)]，さらには大規模処理法である A_2O 法に有用である。

以下に A_2O 法への適用を想定し，具体的な利用方法を説明する。

4.3.1　雨水流入時の A_2O 法運転支援

A_2O 法では生物脱リンが行われるが，雨水が流入すると下水中の有機物不足が原因でリン除去性能が低下し，その程度は雨水の流入期間や下水中の BOD（Biochemical Oxygen Demand）濃度に依存する。併せて，有機物不足により窒素除去率の低下も予想される。そこで，雨水中の有機物濃度，流入水量などをシミュレーションモデルに入力し，窒素およびリン除去の運転支援を行う。

(1)　窒素除去

水温なども考慮しつつ硝化性能を予測し，次いで脱窒速度を計算して最適な硝化液の循環比を推定する。必要があれば活性汚泥濃度（MLSS）の変更も検討する。

(2)　リン除去

嫌気槽におけるリン放出速度，好気槽でのリン吸収速度を計算し，リン除去率を予測する。除去率が低下すると予測されれば，直ちにバックアップとしての凝集剤の注入を決定し，注入量を計算する。適切な注入時期の判定，注入量の決定は，処理水質の悪化，過剰注入の防止に効力を発揮する。また，長期の雨水の流入後は，脱リン菌の能力が

大幅に低下しているので，低下レベルを確認し，種々の活性汚泥濃度を入力して，最短回復所要期間を推定する。

4.3.2　システム構成と利用効果

本支援システムは，現段階ではオフラインの支援システムを想定しており，計算結果が直接運転操作に反映される訳ではない。運転管理担当者は，シミュレーション結果も考慮しつつ最適運転制御条件を決定し，自らの判断で運転を行う。上記の運転支援により，高レベルの処理水質の維持，ばっ気動力の省エネルギー，脱リン用凝集剤注入量の低減，維持管理のための水質分析頻度の軽減などが可能となる。

ヨーロッパではシミュレーションによる運転支援がすでに実用化されているが，わが国ではまだ研究段階であり，実験室レベルでの予測が現状である。しかし，今後の高度処理プロセスの普及に対応し，さらにはより高度な運転管理のためにもシミュレーション技術の導入が望まれる。富士電機では今後も積極的に開発に注力の予定である。

5　あとがき

以上，第8次下水道整備5箇年計画の目標に関連した下水道プロセスにおける最新の計測制御技術に関して紹介した。21世紀に向け，下水道事業においてはこのほかにも汚泥資源のリサイクルや，下水の廃熱利用，さらには下水道管きょ内光ファイバ通信網を利用した下水道事業の高度情報化など多くの試みが計画されている。

富士電機では，これらの多岐にわたる下水道システムの全分野において積極的に開発に取り組んでおり，今後の新しい下水道システムの構築に貢献していく所存である。

参考文献

(1)　建設省都市局下水道監修：下水道施設計画・設計指針と解説，日本下水道協会，p.253（1995）
(2)　井上公平ほか：赤外吸光度変動解析による汚泥凝集状態の計測，第35回下水道研究発表会
(3)　沢田芳夫ほか：赤外吸光度変動解析を用いた凝集センサの汚泥調質制御への適用，第35回下水道研究発表会
(4)　Henze, M. et al. : Activated Sludge Model No.2, IAWQ (1995)
(5)　古屋勇治ほか：回分式活性汚泥法による活性汚泥シミュレーション技術の研究，EICA，Vol.1，No.1，p.98-101（1996）
(6)　佐々木康成ほか：窒素・リン同時除去を目的とした2槽式間欠曝気活性汚泥法の原理と処理性能について，下水道協会誌，Vol.32，No.385，p.49-58（1995）

技術論文社外公表一覧

標題	所属	氏名	発表機関	
イオン交換樹脂の減容処理技術の開発	富士電機総合研究所 原子力・環境事業部	片桐　源一 山本　孝	FAPIG，**148**，3（1998）	第一原子力産業グループ
α+β線用汚染モニタ	東京システム製作所 〃	長谷川　透 小杉　正直		
国際共同開発プロジェクト GT-MHR	原子力・環境事業部 〃	岡本　太志 早川　均		
電力用半導体を用いた無誘導解消型限流器に関する実験的検討	富士電機総合研究所 〃	磯崎　優 森田　公	電気学会電力・エネルギー部門誌，**118**-B，4（1998）	電気学会
浮揚溶解法における電磁力応用技術	富士電機総合研究所	武　達男	電気学会産業応用部門誌，**118**-D，4（1998）	電気学会
富士電機における技術開発の取り組み	技術開発室	鴨下　友義	エネルギー，**31**，4（1998）	日本工業新聞社
光フィールドバスシステムとその相互運用性	東京システム製作所	松平　竹央	計装，No.6（1998）	工業技術社
新しい時代へのプラント計測・制御システム	産業・計測システム事業部	福本　武也	計測技術，No.5（1998）	日本工業出版
フレキシブルアモルファス太陽電池	富士電機総合研究所 〃 〃 〃	藤掛　伸二 吉田　隆 市川　幸美 夏目　文夫	信学技報，No.5（1998）	電子情報通信学会
Analysis and suppression of latch-up during IGBT mode of DG-BRT operation	富士電機総合研究所	山﨑　智幸	SOLID-STATE ELECTRONICS，**42**，3（1998）	Elsevier Sience Ltd.

富士時報　Vol.71 No.6 1998

オープン化・情報融合をめざす上下水道用新監視制御システム

赤松　和彦（あかまつ　かずひこ）　八代　一伸（やしろ　かずのぶ）　吉田　昭（よしだ　あきら）

1　まえがき

情報・監視制御システムは，公共のライフラインである上下水道設備を安全・安心・安定に運用するために必要不可欠な位置づけにある。施設の公共性から，その信頼性の確保と，的確な設備運転を実現するためのリアルタイム性，オペレーションの容易さの確保が重要なポイントとなっている。

一方，世の中のオープン化の流れは上下水道分野の監視制御システムにも及んでおり，「システムで蓄えたデータを自由に引き出し再利用したい」「エンドユーザーが簡単な改造・変更を行いたい」などといったオープン化への期待感が高まっている。

また，運用・維持管理の視点から必要となる情報および情報処理の役割は，ますます重要となってきており，設備が本来必要としている制御と，効率的運用・維持を行うための情報を，施設全体さらには組織（企業体などのレベル）全体で融合することが重要である。

以上の観点から，上下水道分野の監視制御システムにおいては，従来の運転・監視・制御機能に加えて，業務・保守・設備維持などの，より高度な管理機能を統合し実現することが必要である。

本稿では，以上の背景から開発された，最新の上下水道監視制御システムについて紹介する。

2　監視制御システムの要件

最新の監視制御システムを構築するにあたり，従来の高信頼性・リアルタイム性能を維持し，さらに情報制御技術の最新キーワードである「ネ・オ・ダ・マ」すなわち，ネットワーク，オープン，ダウンサイジング，マルチメディアの技術を適用していくことが必要であり，以下に監視制御システムに求められる要件について述べる。

2.1　オープン化

2.1.1　監視制御システムに蓄えたデータの活用

監視制御システムに蓄えられたプロセスデータ，運転・履歴データ，トレンドデータなどを，ネットワークに接続したパーソナルコンピュータ（パソコン）などに自由に取り出せて，統計資料の作成，維持管理への反映，運用計画の策定などに活用できる。

2.1.2　エンドユーザーコンピューティングの実現

分かりやすいパソコンライクなグラフィカルユーザーインタフェースや，ISV（Independent Software Vender）ソフトウェアを利用した支援システムが提供されることにより，ユーザー自身によるシステムの改造・変更が可能である。

2.2　自由度とコスト縮減

従来までのメーカー標準システム（DCS ： Distributed Control System）では，高信頼性と快適な操作性能を実現するために，ユーザー選択の自由度がある程度制限されてきた。

システムのオープン化と相まって，デファクトスタンダードの採用などによるメーカー標準に依存しない，より自由度の高いシステムの提供が求められるとともに，ダウンサイジングによるコスト縮減が必要となる。

2.3　制御と情報の融合

データベースのオープン化によって，ユーザーは今まで十分に活用できなかった種々のデータを有効に利用することができるとともに，さまざまなネットワークを経由して，高度情報・制御パッケージや経営管理，業務管理，情報活用・公開，設備メンテナンス，防災対応などのシステムを利用することが可能である。

3　最新の監視制御システムの構成と特長

富士電機の上下水道監視制御システム FAINS-AX シリーズはオープン・分散をキーコンセプトとし，高機能

赤松　和彦

上下水道用電気・計装システムの応用ソフトウェア設計・開発，システム設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部新事業推進部課長。

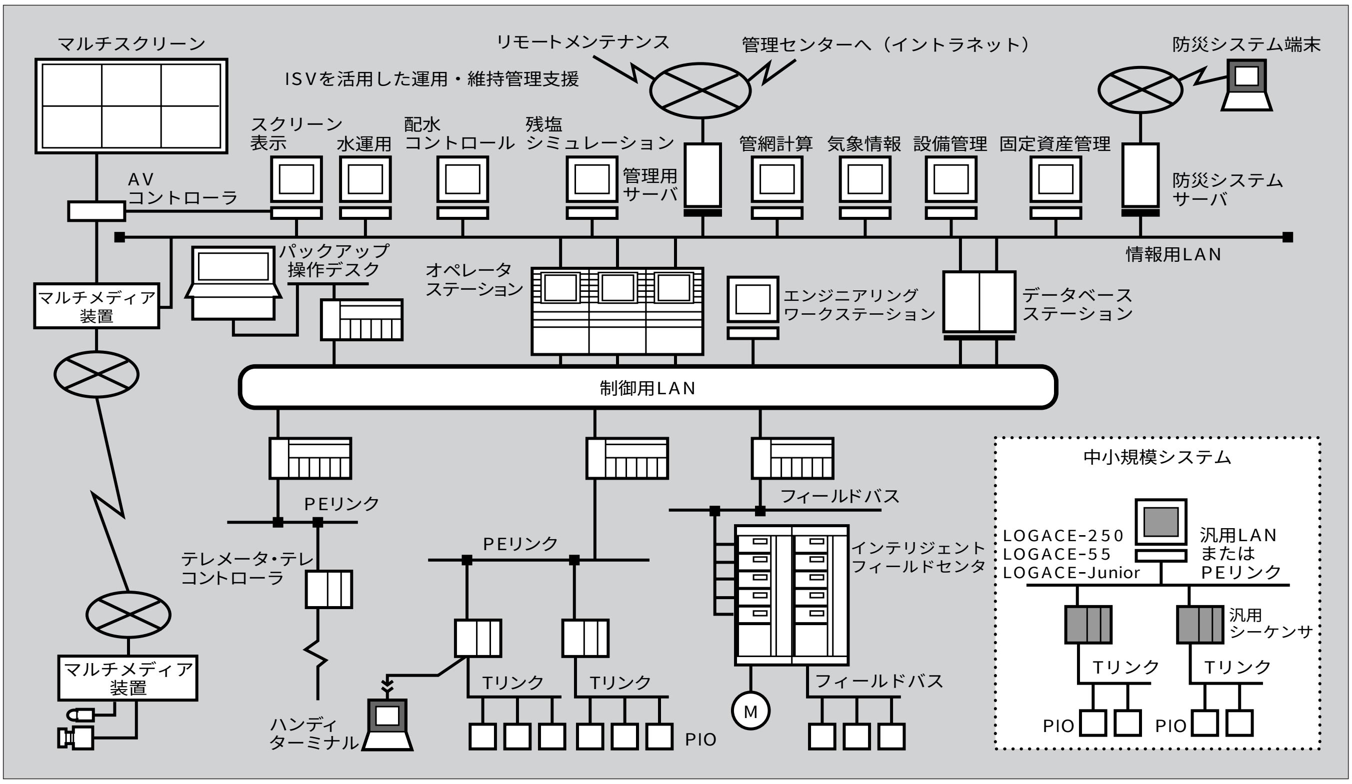
八代　一伸

上下水道プロセス用コンピュータシステムの応用ソフトウェア開発に従事。現在，システム本部第一システム統括部水処理システム部課長。

吉田　昭

上下水道設備の監視制御システムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部システム技術部課長。

図１　監視制御システムの構成



HCI（Human Computer Interface）を搭載したオペレータステーション，オープンデータベースステーション，高速制御 LAN，高速コントロールステーション，インテリジェントフィールドセンタ（オープン指向コントロールセンタ）からなる監視制御システムを実現している。さらに運転管理系・業務支援サービス系・マルチメディア通信系・緊急防災系の各上下水道コンピュータネットワークシステムと高速情報 LAN を介して機能的に融合した構成とすることで，上記要件のソリューションを提供している。

3.1　監視制御システムの全体構成

監視制御システムの全体構成を**図１**に示す。

FAINS-AX シリーズには，ウィンドウ表示採用のオペレータステーション，オープンデータサーバ，高速・高信頼性 FDDI（Fiber Distributed Data Interface）ネットワークシステムを採用し，柔軟でオープンなシステムを実現した FAINS-AX3000 と，DCS にウィンドウオペレーション，オープンデータベースなどのオープン化指向を融合させた FAINS-AX2000/1000 および中小規模向けの LOGACE シリーズが用意されている。

3.1.1　監視制御システム

オペレータステーション，データベースステーション，制御用 LAN は，上記 FAINS-AX シリーズのなかから機能，規模に応じて選択できる。

高速コントロールステーション（ACS-2000）は，EI 統合制御機能を高速実行するとともに，ローカル伝送リンク（T リンク・PE リンク）から収集されたプロセスデータをソフトウェアモジュールを介して監視システムに提供する。コントローラ間通信および I/O 間通信にフィールドバスを採用したインテリジェントフィールドセンタは，シーケンス制御とアナログ制御の機能統合を実現したフレキシブルで高信頼性のコントロールセンタである。フィールドバス対応の各コンポーネントとの組合せも容易であり，上位システムからのユニット単位での状態監視が可能となっている。

現場には着脱が可能なハンディターミナルが配置でき，現場で情報系のデータ把握ができる。

3.1.2　ネットワーク接続システム

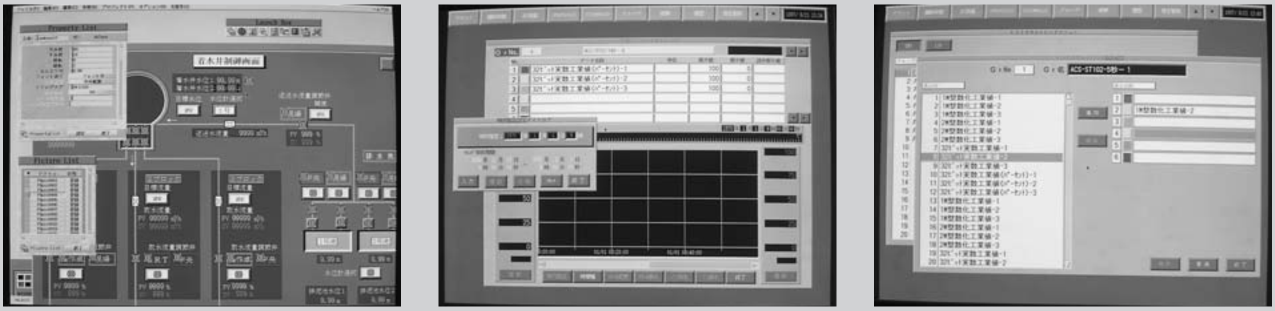
オープンデータベースに接続された高速情報 LAN には，各種コンピュータネットワークシステムが結合される。

マルチメディア装置は，ネットワークシステムを介してその画像・音声データが，運転管理系・業務支援（保守）系のシステムで用いられる。運転管理では，水運用，配水コントロール，残塩シミュレーション，流入予測などの支援システム，業務支援では設備管理，固定資産管理，管網計算パッケージ，気象情報などの支援システムが提供される。さらに広域通信回線網を通して，情報交換・公開のためのイントラネットシステム，より安全で安定したシステム稼動を保証するリモートメンテナンスシステム，災害発生時に緊急情報を広域に提供する緊急・防災システムなどを用意している。次にその機能と特長について説明する。

4　FAINS-AX シリーズの機能と特長

FAINS-AX シリーズは，パソコンライクなウィンドウオペレーション，汎用 LAN，汎用データベースの採用に

図２　FAINS-AX３０００の画面例



GUIビルダによる対話作画　　グラフィカルなヒストリカルトレンド　　自由に項目の組合せができる組替え画面

より，オープンで柔軟なシステム構成となっている。

4.1　FAINS-AX3000

FAINS-AX3000は，UNIX〈注1〉コンピュータとワークステーション，パソコンをネットワークで接続した，オープンなシステムである。このような環境下で，最適なコンポーネントを用いた柔軟なシステムの構築を実現する。

4.1.1　柔軟なHCI

(1)　オブジェクト指向技術の採用

CRT画面は，表示画素とその画素が持つ機能（プログラム）を組み合わせ，部品化して作成されている。これらの部品をニーズに合わせカスタマイズすることにより，多様な機能を実現する柔軟な画面構成を構築することができる。

図２にその画面例を示す。

(2)　柔軟な背景画

画面の背景画は，パソコンで動作するデザイナーズソフトウェアで作成され，立体的な表現や複雑な配色が可能であり，写真や図面などを直接利用することもできる。

(3)　豊富な水処理向け表示部品

機器シンボル，操作ボタン，設定ボタンなどの水処理向け部品を豊富にそろえている。監視操作画面は，これらの部品を組み合わせることによって，ほとんどの機能に対応できる。さらに，マルチメディア処理に対応したITVウィンドウ部品など，部品の追加，充実を図っている。

4.1.2　エンドユーザーコンピューティング機能

入出力信号の名称などの定義情報は，パソコン上の汎用表計算ソフトウェアを利用し，ユーザーによる容易な変更を実現している。この表計算シートをメーカーとユーザーで共通利用することにより，保守性を確保している。

4.1.3　データ加工のオープン化

帳票データやメッセージデータは，汎用データベースに格納することができる。これらのデータは，ネットワークに接続されたパソコンと汎用ソフトウェアを利用して，容易に連携することができ，ユーザー自身による自由なデータ加工を行える環境を提供している。

4.2　FAINS-AX2000/1000

FAINS-IXシリーズの後継機種として開発されたFAINS-AX2000/1000は，DCSとしての高信頼性・高性能を継承しつつ，これからのネットワークシステムへの対応を考えた，オープンな監視制御システムである。

その大きな特長としては以下のものがある。

4.2.1　優れた信頼性と保守性

FAINS-IXシリーズで培われてきた専用機技術を踏襲し，先進の自己診断機能と豊富なRAS情報で，高い信頼性・保守性を実現している。

4.2.2　ユーザーの使い勝手を考えた操作性

(1)　マンマシンオペレーション

系統画面の色数を増やし，対象となるプラントに合った色表現を可能とし視認性を向上させた。また，ウィンドウズライクな画面構成，画面展開，操作スイッチの立体的ボタン化などにより操作性を向上させた。ポインティングデバイスは，マウス・タッチのどちらでも選択ができる。**図３**に画面例を示す。

(2)　支援系

エンジニアリングワークステーション（AES）を使用した画面・帳票などの製作，変更は，エンドユーザーコンピューティングを考えて，従来よりも編集機能が強化されている。支援系システムは，Windows NT〈注2〉4.0で動作するエンジニアリングツールで，ユーザー自身によるソフトウェア変更が容易に行える。**図３**に画面例を示す。

4.2.3　ユーザーフレンドリーでオープンなシステム

データベースには，オープンなデータ提供を考えてSQLサーバ（**表１**）が搭載され，ユーザーが自由にかつ容易にプラントデータを活用できる。保存されているデータは，市販の表計算ソフトウェアやデータベースソフトウェアを使うことにより，簡単に編集・加工ができる。

4.2.4　ネットワークシステムへの柔軟な対応

(1)　パソコンを使用したリモート監視

任意の場所に設置されたAOS-PC（パソコン）から，

〈注1〉UNIX ：X/Open Company Ltd.がライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標

〈注2〉Windows NT ：米国Microsoft Corp.の登録商標

図３　FAINS-AX2000 の画面例

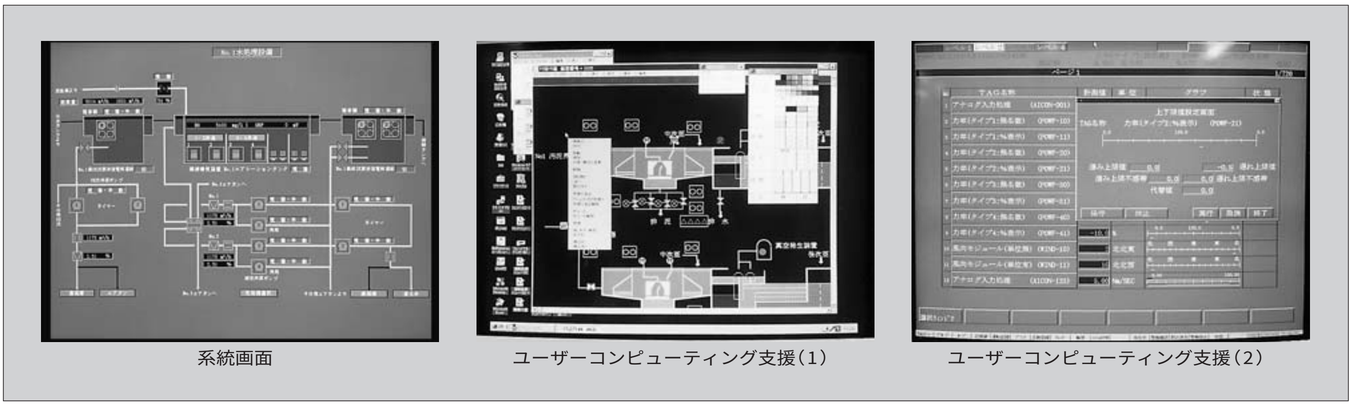


表１　SQLサーバのデータ種類

種　別	内　容
瞬時データ	256点（1分収集のとき）
トレンドデータ	62日間（1分収集），256点
帳票データ	日報550日，月報30か月，年報6年
警報・運転履歴データ	警報：8,192点　運転履歴：32,768点

汎用 LAN を介して専用機と同様の機能が利用できる。また遠隔地からは，AOS-PC へのリモートログイン操作で，同様の監視操作を行うことができる。**図４**にその構成を示す。

(2)　ネットワークプリンタの採用

従来の直結プリンタ以外に，ネットワークプリンタへの印刷を可能とし，印刷場所を選ばず帳票などを任意の場所へ出力することができる。また従来は，画面コピー用に専用のハードコピー機が必要であったが，汎用カラープリンタをネットワークに接続するだけで，簡単にカラー画面コピーを取ることができる。

4.3　LOGACE-250/55/Junior

LOGACE シリーズは，FAINS-AX シリーズの機能を継承し，システムコスト縮減を実現した中小規模向けシステムである。DCS タイプの 250，FA パソコンベースの 55，シーケンサ応用の Junior の 3 タイプが用意されており，適用するプラントの規模・重要度に応じて，最適システムの選択ができる。

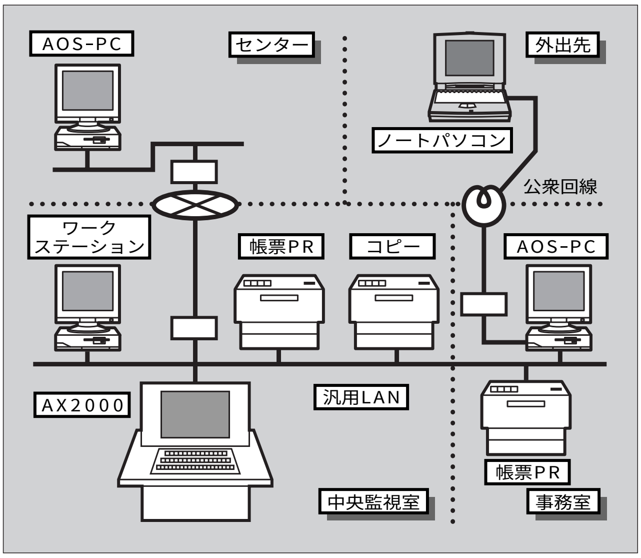
5　プロセス制御機器

プロセス制御機器は，従来技術を踏襲し，フィールドサイドのオープン化・情報化を推進する，インテリジェントフィールドセンタ，現場ハンディターミナルなどの，新しい機器が用意されている。

5.1　ハンディターミナル

現場操作端末を，ネットワークを通じて監視制御システムに接続し，現場操作を中央操作と同じ状態で行えるようにすることで，現場盤なしの運転を実現している。

図４　リモート監視システムの構成



ネットワークにはローカル制御用シーケンサの I/O 通信 LAN または汎用 LAN を用い，監視制御が必要となる場所に用意した接続口に接続して使用する。端末には，パソコンまたは POD を使用して下記の機能を実現している。

(1)　管理施設の縮小化による経済的なシステム構築

(2)　豊富なガイダンスによる人に優しいインタフェース

(3)　情報系データの現場運転での活用

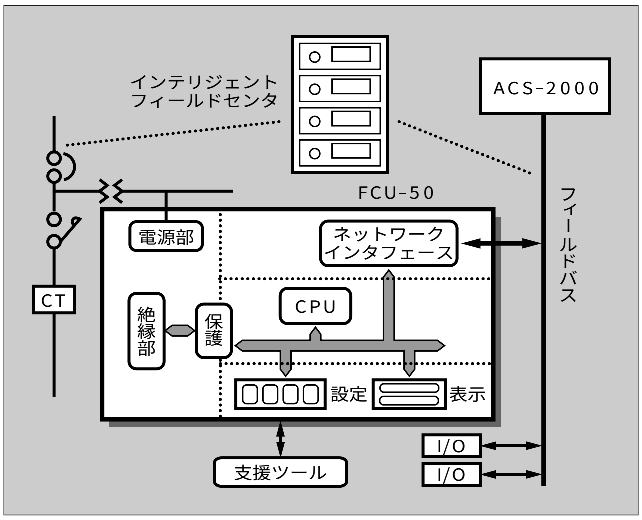
5.2　インテリジェントフィールドセンタ

インテリジェントフィールドセンタは，従来のコントロールセンタ（C/C）をフィールドセンタと位置づけ，電子化された専用のコントロールユニットにフィールドバスを接続し，複合機能化するシステムに対応する。コントロールユニットの構成を**図５**に示す。

5.2.1　コントロールユニットの高機能化

FCU-50（FCU ： Field Control Unit）は，シーケンス制御（主回路，制御回路）とアナログ制御（PID 制御，カスケード制御，比率制御，プログラム制御）を融合し，フィールド機器ベースの EI 統合を実現することにより，分散制御性の向上を図っている。さらに，外部から支援ツールで

図５　コントロールユニットの構成



の制御回路の変更を可能にすることで，現場での負荷の制御方式変更にも容易に対応できる。

また故障電流，運転履歴などのメモリ機能を備え，RAS 情報収集が容易になり MTTR の短縮が可能となる。

5.2.2　フレキシブルなシステム構築

フィールドバスでは，複数台のフィールド機器が一つのバス上に接続できるため，ケーブルコストの削減，配線工事の合理化，機器追加の容易化などのメリットが挙げられる。インテリジェントフィールドセンタは，フィールドバスシステムを採用することにより，管理情報と制御情報の統合，保守コストの低減，センサのインテリジェント化促進，インターオペラブルなマルチベンダシステムの構築を実現している。

コントロールユニットとフィールドバスにより，フィールド機器だけで信号検出，制御演算，操作を行うフィールド分散制御や，より高度な機器保全システム，設備管理システムなどを構築できる。

6　情報化との融合を実現するネットワーク接続システム

最新の監視制御システムには，より最適なソリューションを実現するために，種々の充実した情報化支援システムや周辺コンポーネントが用意されている。以下にこれらを説明する。

6.1　インテリジェント監視

インテリジェント監視は，ITV 画像の変化を検出するアルゴリズムを搭載し，場内侵入者や設備異常の監視を行う機能である。この ITV 画像は CRT にウィンドウ表示させることができ，カメラ切換などの操作もこのウィンドウ上から行うことができる。

6.2　運用・維持管理支援システム

制御系システムで収集するデータは，情報用 LAN を通じて共有化することができる。このデータを表計算ソフトウェアなどを用いて編集・解析を行い，運転計画などの業務を支援するシステムを用意している。各機能の詳細は，本特集号の別稿（水道統合情報処理システム）で詳述しているので参照いただきたい。

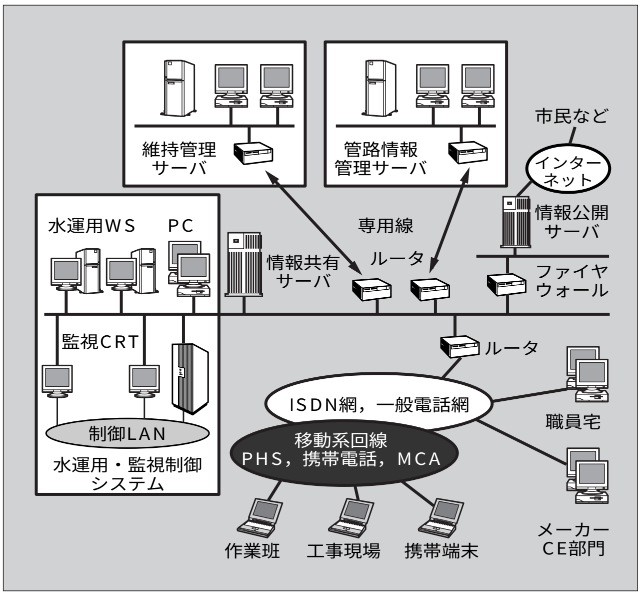
(1)　固定資産管理システム

(2)　設備管理，図面管理システム

(3)　企業会計システム

(4)　水道料金計算システム

図６　情報共有化システムの構成イメージ



6.3　情報共有化システム

インターネットとともに普及したブラウザソフトウェアを利用し，監視制御データや運用維持管理データを，ネットワークを通じて提供するシステムである。ネットワークに接続された端末を通して情報を提供し，場所や時間を問わず，あらゆる人がすべての情報を共有できるようになる。**図６**にシステムの構成イメージを示す。

これらの情報は，インターネットへ対応したインタフェースであり，全世界への情報発信の可能性を持っている。また，自治体イントラネットシステムの構築計画にも対応できる構成である。

6.4　マルチメディア遠方監視

従来のテレメータ回線に比べ，現場映像，音声，監視データを多重化したマルチメディア伝送は，臨場感のある遠方監視制御を提供する。NTT［日本電信電話(株)］高速ディジタル回線を用いた準動画通信や専用光ファイバと ATM（Asynchronous Transfer Mode）交換機を用いた大容量通信など，伝送内容と容量によって機種，方式を選択できる。

6.5　マルチスクリーン

大形マルチスクリーンを導入することにより，CRT や

ITV の画面を表示することが可能となる。各種情報を得るための CRT 卓への移動をなくし，監視室の全員が同時に画面を見ることによりコミュニケーションが向上し，より高度な監視を行えるようになる。

6.6　リモートメンテナンス

監視制御システムは，NTT 回線を用いて，システム構成機器の稼動状態を遠隔地から監視する機能を提供している。システムの異常時に，遠隔にて各構成機器の稼動状況データ（RAS 情報）やソフトウェアの稼動情報を得ることができ，部分的なソフトウェアの修正も行えるため，従来の現地調査によるメンテナンスに比べ，より迅速にシステムの障害対応が行える。また，回線接続に用いる装置には，メンテナンス契約電話番号以外の着信を拒否する機能があり，第三者による不正なネットワーク侵入を防止できる。

7　あとがき

オープン・分散をコンセプトとした FAINS-AX シリーズと情報通信システムの融合を実現した，最新の監視制御システムを紹介した。激変する環境のなかにあって，これからオープン化，ネットワーク化への期待がさらに高まってくると考えている。重要なライフラインである上下水道設備に，安全・安心・安定を提供するため，より進化したシステムの提供に努める所存である。

最近登録になった富士出願

〔特　　許〕

登録番号	名　　称	発明者
2737345	信号切替装置	園村　泰彦
2737357	三相電子的負荷装置	中西　要祐 川田　信哉
2737377	プラズマ処理装置	長尾　泰明 清水　明夫 大岩　　潔
2737378	冷媒の脱気処理装置	東　　　泉
2737391	リンギングチョークコンバータ	植木　浩一
2737392	サーマルリレーの設定電流表示装置	高島　敏和
2737418	良否検査装置	丸山　公一
2737427	超音波診断装置	高階　　悟 坂本　義貞
2737759	紙葉類の良否判定方法	竹内　　豊
2737876	リアクトル	野村　年弘
2738071	MOS コントロールサイリスタ	岩室　憲幸
2738107	漏電遮断器	岡野　芳郎
2738113	X 線撮影装置のフィラメント電源	川村　逸生 加藤　昌史 五十嵐征輝
2738138	電流形 PWM コンバータの制御方法	小西　義弘

登録番号	名　　称	発明者
2738139	並列商用同期式 CVCF 電源の同期指令切替装置	栗橋　宏幸
2738140	光電スイッチの投光回路	谷川　　清 坂之上健一
2738970	二酸化塩素計	西方　　聡 篠原　康裕
2738988	燃料改質器	新海　　洋
2739028	静電駆動式マイクログリッパ	杉浦　　賢
2739914	パンタグラフ装置	宮内　広二 辻本　勝司
2740335	自動セル属性判定機能を有する表読取装置	本郷　保夫 来見田博史
2741714	自動販売機の商品収納棚	上田　治幸
2743517	レーザ光波長変換装置	田沼　良平
2743546	電圧形インバータ用主回路モジュール	唐津　了三
2743923	自動販売機の飲料冷却水槽	佐藤　俊博 高野　晃利 橋本　正美
2743947	マイクロプログラム制御方式	安西　文彦
2744342	塩素濃度制御装置	深瀬　陽一 中谷　智良 鶴田　和博 古田　寿久 神崎　克也
2744528	キーボード入力装置	内山　純夫

効率経営をめざした水道統合情報処理システム

佐川　　学（さがわ　まなぶ）　　髙城　正文（たき　まさふみ）　　伊藤　　修（いとう　おさむ）

1　まえがき

近年，水道事業においては，これまでの面的・量的拡充に加えて，給水サービスのレベルアップ，災害に強い給水，渇水対策，品質に関する信頼性確保，安定給水の施策が課題となっている。さらに，水道施設の高機能化および複雑化に伴い，施設ごとに管理する機器がますます増加する傾向にあり，運転操作や維持管理の重要性が増している。これに伴って，事務作業が複雑化・高度化している。

また，社会環境面からの変化として，高齢化・少子化が進んでいることにより，人の確保が難しくなる。さらに，公共工事コストの縮減が求められ，業務効率の向上が重要な課題となっている。

このような背景から，水道事業体向けシステムは，従来の運転・監視・制御機能に加えて，電力量や薬品使用量の削減など，効率的な運用が図られている。さらに，保守，補修，点検，トラブルシューティングなどの業務の省力化が必要となり，それらの業務の外部委託が推進されようとしている。

富士電機は「水道統合情報処理システム」を核として水道事業体に対し分析・企画，設計，開発・導入，運用・保守のシステムのライフサイクル全体をサポートするとともに，コスト削減を実現するソリューションを提案する。

本稿では，コンピュータ技術，ネットワーク技術，マルチメディア技術などの新しい技術をベースとした「水道統合情報処理システム」について紹介する。

2　水道統合情報処理システムの位置づけ

ソリューション技術により，コスト削減を実現するプラント運用の効率化と維持管理の省力化について述べる。

電力量の削減については，ポンプのVVVF化やプラント運用の効率化として，現代制御理論の技術が用いられている。また，水運用による配水池の平滑運用を実現する技術として，予測モデルと線形計画法が多く使われている。例えば，カルマンフィルタやニューラルネットワークモデルを用いて需要量を予測し，線形計画法やダイナミックプログラミング法を用いて，100を超える配水池への送水量を平滑化し，取水量を一定化する運用を実現した。

ポンプ場などの広域監視については，大形マルチスクリーンとネットワーク系の活用が進められ，少人数での監視レベルの向上や障害時などの迅速な対応が実現している。例えば，PHS（Personal Handyphone System）と携帯情報端末を活用し，現場保守点検の効率化が図られている。また，マルチメディア情報を用いたシーンベースド監視やインテリジェント監視により，臨場感のある監視操作を実現している。

維持管理の省力化のための技術としては，自己診断型機器とオープン系ネットワークによる官民協力の診断技術がある。この技術により，汎用ネットワークによるマルチベンダの診断，WAN（Wide Area Network）による安価な広域ネットワーク，24時間のメーカーサポート体制によって，維持管理の高効率化を実現した。

さらに，運転および維持管理の外部委託による経営合理化が実現されようとしている。例えば，水道設備の申請業務において，現場および設計技術者の不足から，工事店での申請図の作成が困難になってきた。また，審査担当部署への工事申請は，他業者との待ち時間など，非常に時間がかかり，工事店の経営に大きな負担を強いてきた。このソリューションとして，申請を行う管工事組合などの事務所にて，CAD（Computer Aided Design）により一括して申請図を作図し，一括して審査担当部署へ申請を行う方式がある。この外部委託と情報化により，費用削減を実現するとともに，図面のディジタル化による管理の向上，省スペース化・省力化が図れる。

プラント運用の効率化と維持管理の省力化を実現する，水道統合情報処理システムの全体システム構成を**図１**に示す。

全体システム構成図から，水道統合情報処理システムは，プロセス監視制御システムにリアルタイム連携するマルチメディア情報監視・水運用系システムおよびその上位に位置づけられる維持管理系システム，設計・計画・経営系シ

佐川　　学

上下水道用電気・計装・コンピュータシステムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部課長。

髙城　正文

上下水道用電気・計装・コンピュータシステムの設計に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部公共技術部課長補佐。

伊藤　　修

水処理システム，ファジィ制御の開発に従事。現在，システム本部第一システム統括部水処理システム部担当部長。工学博士。

図１　水道統合情報処理システムの全体構成

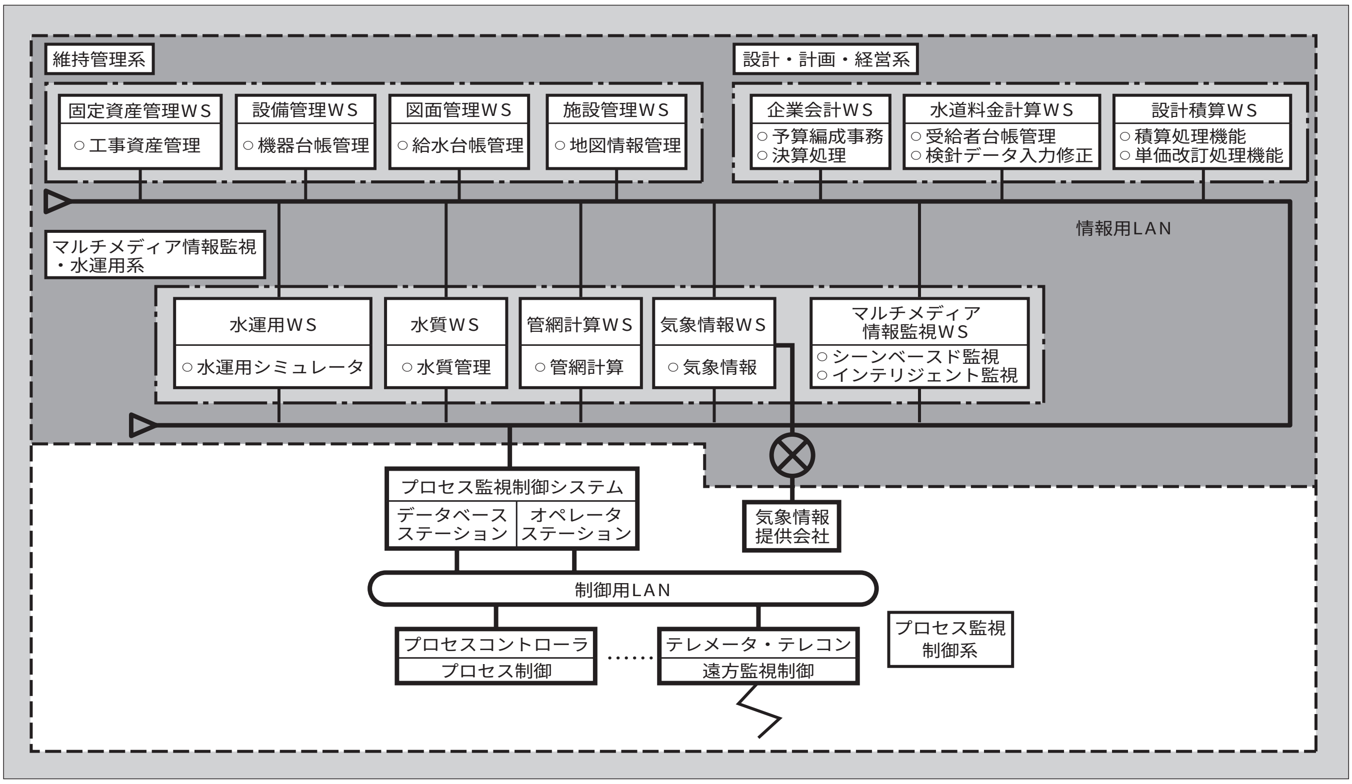
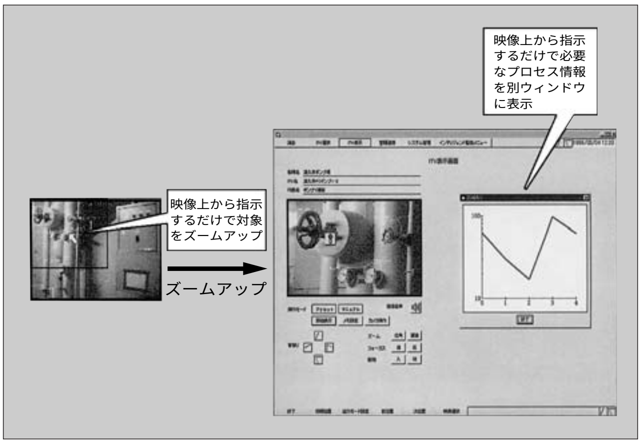


図２　監視映像の拡大と関連プロセス情報の表示例



ステムで構成される。

監視制御システムで収集するデータは，汎用データベースに格納することができる。これらのデータは，パーソナルコンピュータ（パソコン）で動作する表計算ソフトウェアと容易に連携可能であり，データの編集・解析を自由に行うことができる。

水道統合情報処理システムの特長は，次のとおりである。

(1)　各業務情報をデータベース化し，一元化することにより，情報を共有化することができる。

(2)　水道施設の最新情報もリアルタイムに監視できる。

(3)　水道事業の経営判断に必要な各種データが容易に作成され，出力が可能である。

(4)　パソコンや汎用ネットワークの組合せにより，安価なシステムができる。

(5)　最新技術や各種業務をパッケージ化することにより，目的に合った最適システムが安価に構築できる。

3　マルチメディア情報監視・水運用系システム

水道事業へのマルチメディアの導入が不可欠となってきている。高度情報化のキーワードとしては，コンピュータのネットワーク化・オープン化による情報の共有化が挙げられる。マルチメディアは，単にヒューマンインタフェースにおける利便性という面にとどまらず，施設や管理面へのシステム再構築をもたらす重要な要素となってきている。

3.1　マルチメディア情報監視

水道システムの広域化・遠隔化に伴い，各種設備機器の監視制御情報は増大し，リアルタイムで判断し，操作するには，多くの経験と知識を必要とする。こうしたなかで，臨場感と操作性の向上を求めて，映像・音声・計測データを一体化した「マルチメディア情報監視」の導入により，プラント状態の適切な把握と迅速な判断が可能となる。

3.1.1　シーンベースド監視システム

シーンベースド監視システムは，監視・操作対象に応じた情報の表示と操作の手順を，マルチメディア情報の形でオペレータに通知する。そのために，次の機能を有している。

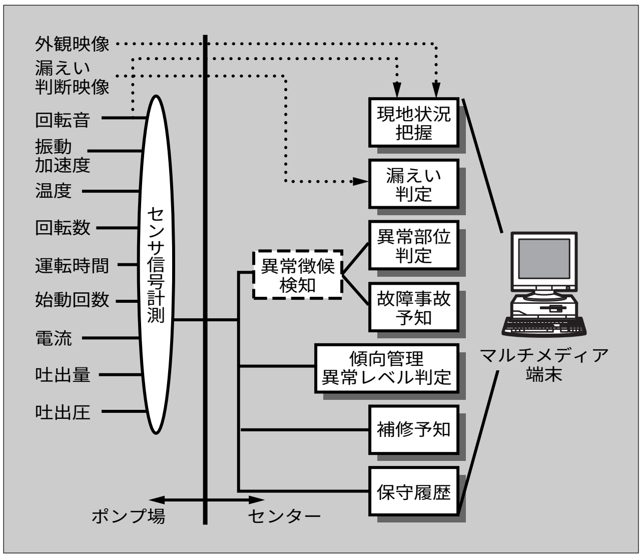
(1)　映像の監視対象位置に監視対象の情報を重ねて表示

(2)　監視映像に関連する監視画面を同時に表示（**図２**参照）

(3)　監視映像に対応した現場音響を出力

これらの機能により，現場感覚の監視・操作，遠隔監視

図3　インテリジェント監視機能



を実現する。

3.1.2　インテリジェント監視システム

インテリジェント監視システムは，ポンプ場の設備機器に設置した振動計，温度計，流量計などからの計測情報と音響・画像情報により，設備点検員による総合判断をコンピュータで行い，日常点検の遠隔化を実現する。その機能を**図3**に示し，その効果を次に記す。

(1)　電動機，ポンプの機器異常の兆候検知機能および誤操作防止と重大事故未然防止。

(2)　マルチメディア情報により，現場に駆けつける場合と同様の臨場感での異常部位・異常状況確認機能および迅速な対応と早期復旧，異常波及の防止。

(3)　各設備機器の計測データの傾向管理と運用補修履歴管理による保守点検支援機能および設備費の削減。

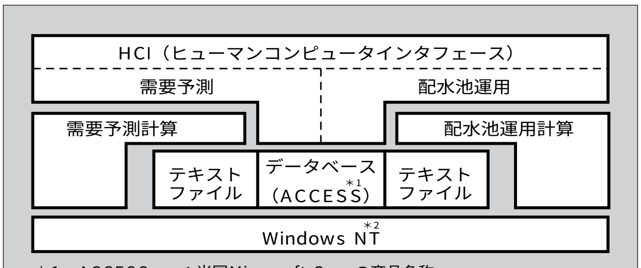
3.2　水運用シミュレータ

水運用制御は，水道システムにおいて，取水から配水池への送水までの系統で，水量を経済的，かつ効率的に配分することを目的とする。そのためには，配水区ごとの１日の需要量を予測し，浄水場，取水場の水量分担を決定することが必要となる。さらに，１日の予測需要量から時間単位の予測需要量に展開し，配水池への送水量を平滑化したり，ポンプ運転台数の変更回数を最小化する送水計画を立てることが必要となる。これらの要求にこたえ，使いやすく，かつ容易に結果を評価できる水運用シミュレータについて述べる。

本水運用シミュレータのシステム機能構成を**図4**に示す。

パソコンで動作し，需要予測シミュレーションと配水池運用シミュレーションを行うことができる。さらに，需要予測結果と連携した配水池水運用シミュレーションも可能である。需要予測シミュレーションでは，カルマンフィルタによる日量予測とその日に該当する時間パターンによる時間量予測を行う。結果の理解の容易化とその評価のために，次のような表示機能がある。

図4　システム機能構成



＊1　ACCESS　　：米国Microsoft Corp.の商品名称
＊2　Windows NT：米国Microsoft Corp.の登録商標

(1)　需要パターンの表示が可能である。

(2)　日需要量予測と実績日需要量および誤差率のグラフ表示では，曜日別需要量，予測・実績相関図，天候別需要量，誤差度数分布，最高気温・需要量相関図の詳細表示が可能である。

(3)　時間需要量予測と実績時間需要量のグラフ表示では，予測・実績相関図，誤差率，誤差度数分布，誤差率，需要パターンごとの誤差度数分布の詳細表示が可能である。

一方，配水池シミュレーションでは，動的計画法により水位の上下限制約のもとで，送水量の平滑化，ポンプ運転台数変更回数最小化および電力費用最小化の各運用計画を48時間先まで立てることができる。また，計画後に実際の需要量が変化した場合のシミュレーション機能（水位検定）や，水位が上下限制約を逸脱する場合の修正計画も可能である。配水池水位と流量のシミュレーション結果はトレンドグラフで表示される。

本水運用シミュレータを使用することにより，

(1)　予測精度の評価や，誤差要因の抽出・修正（例えば，曜日の誤差が大きい場合には，その係数の修正など）が可能である。

(2)　目的に応じた最適化条件の選択による配水池水運用計画立案が可能である。また，計画後の水位検定や修正計画機能により，実運用に即したシミュレーションを実行できる。

3.3　気象情報管理

気象情報サービス会社から配給される実績データ，予報データ，注意報，警報，地震情報をNTT［日本電信電話(株)］公衆回線を利用して自動受信する。受信したデータを加工し，CRT画面やプリンタへ表形式，グラフ，シンボルで分かりやすく表示・出力可能である。

また，受信したデータは監視制御システム（水運用システム）へ送信し，従来，配水量予測の際にオペレータが手入力していた天気予報，予想最高気温を自動入力し，水運用の完全自動化を実施する。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　気象実況表示

給水地域や取水地域の現在の気象状況をリアルタイムで受信し，自動リフレッシュで表示する。**図5**に気象実況表示画面例を示す。

図５　気象実況表示画面例

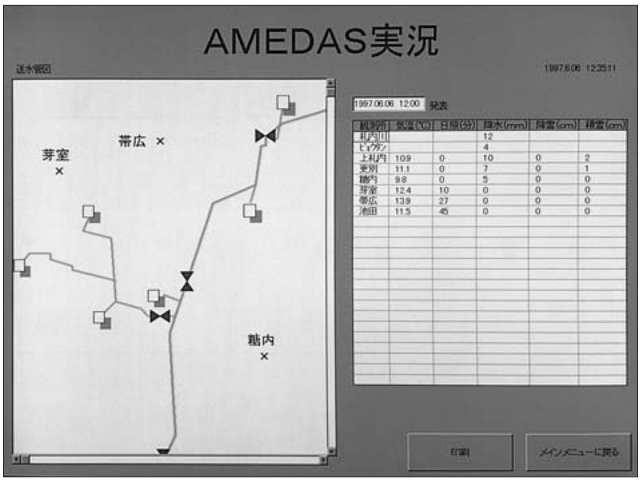
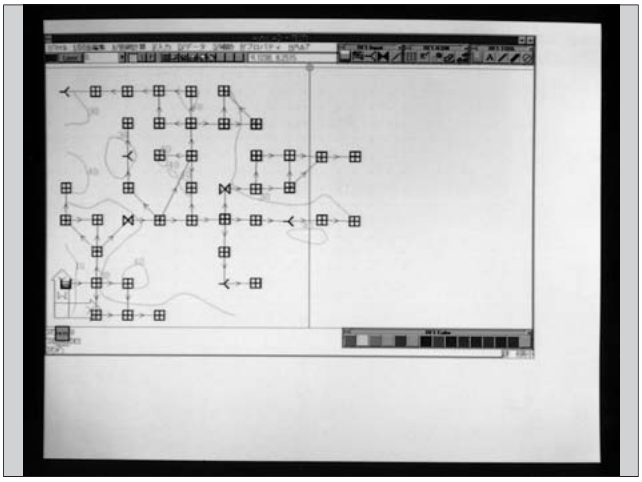


図６　管網計算結果表示例



(2)　降雨量グラフ表示

観測所ごとの１日分の降水量と降水量のデータ（時間降水量，積算降水量）を，１時間ごとにグラフで履歴表示する。水質悪化の予防，適切な薬注制御が行える。

(3)　警報・注意報表示

給水地域や取水地域の気象警報・注意報，地震情報をリアルタイムに表示・印刷する。

(4)　気象履歴表示

データベースの過去から現在までの気象履歴データ（アメダス日報，月報）を表形式，グラフ形式に表示・印刷する。監視制御システムや水質管理システムでは，気象データ，水質データとの相関傾向を分析する。

(5)　システム連携

リアルタイムで受信した実績データや予報データは他システムで活用でき，全自動による精度の高い水運用，水質管理を実現する。

3.4　管網計算

実管網およびモデル管網において，配水管の接続形態や需要量の分布などをデータ入力することにより，管網内の圧力や流量の分布を迅速に計算し，CRT 画面上にビジュアル表示する。

施設管理システムとのデータ連携により，配水管・仕切弁データの二重管理やデータ修正漏れが防止可能である。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　管網モデルデータ入力

CAD の画面上に実際の管路図面を描き，データを設定するので，入力修正が簡単で正確である。

(2)　管網データ自動設定

施設管理システムとのデータ連携機能により，管網計算に必要な管路データを自動設定できる。

(3)　配水制御システム連携

気象情報システム，水運用シミュレータと連携することにより，管網内の圧力・流速変化を予測でき，配水圧力の適正制御が可能となる。**図６**に管網計算結果表示例を示す。

(4)　管網計算結果表示

計算結果を管網流向図，等圧線図でビジュアルに表示でき，CAD 図面から表形式で計算結果を表示することもできる。**図６**の左部の等高線と管網中に表示されている矢印が，等圧線図と管網流向図である。

(5)　管路設計時の管網計算

複雑な管網計算も高速・高精度に計算処理でき，配水管や加圧装置減圧弁の最適配置が可能となる。

3.5　水質管理

水質データの一括管理・報告書作成と最適な薬注制御のシミュレーションを目的としたシステムである。キーボードから入力する手分析データと水質に関するオンライン計測データをデータベース化し，分かりやすくグラフ形式で CRT 表示したり，報告書として帳票出力する。

また，大量の水質データをもとに薬注演算式モデルのシミュレーションを実行し，最適解を求めることが可能である。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　残留塩素データ表示

時間単位の残留塩素（全機場）を一覧形式で確認でき，最高，最低，平均値，上下限逸脱値が表示・印字できる。

(2)　水質データ表示

原水や浄水の水質データを画面や帳票にて確認でき，最高，最低，平均値，上下限逸脱値が表示・印字できる。

(3)　手分析データ表示

キーボードから入力する手分析データと監視制御システムと連携して，オンラインデータを一括管理する。同じ画面や帳票に表示・印字できるため，比較・分析が容易である。

(4)　データトレンドグラフ表示

収集した水質データを見やすくグラフィカルに表示する。指定期間内での計測データのトレンド表示により，水質の調査・分析が行える。

(5)　シミュレーション計算

過去の気象・水質データを基に，薬注シミュレーションを実行する。最適な薬注演算式を求めることができる。

図７　定期点検・修繕対象機器の検索表示画面例

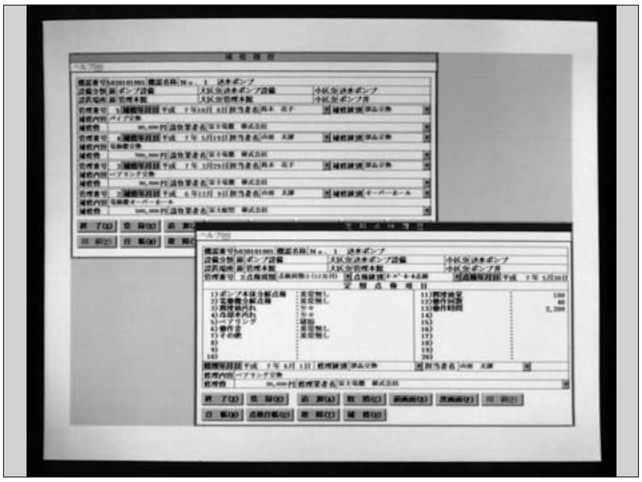
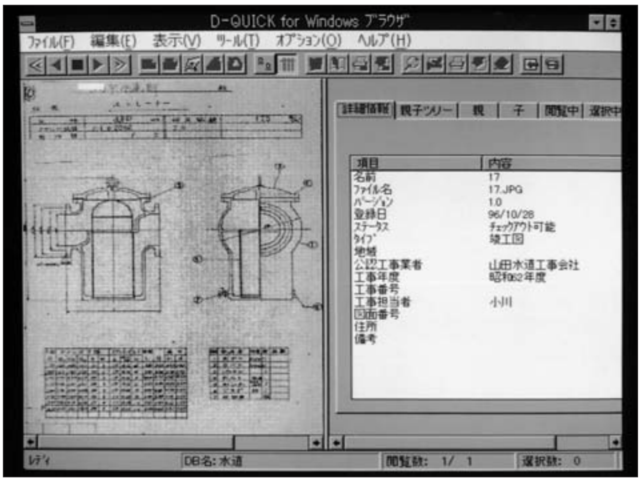


図８　完成・関連図面表示画面例



4　維持管理系システム

4.1　固定資産管理

地方公営企業法に基づいた資産分類の体系化を行い，台帳化することにより，資産評価を算出し，保有資産の取得価額，資産の財源内訳，減価償却費などを把握することができる。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　工事精算業務

振替資産修正，工事台帳登録，本勘定振替実行などを行う。

(2)　資産取得事務

工事，購入，増設など，新たに資産が発生したとき，資産計上や財産決定などを行う。

(3)　固定資産評価事務

過去から現在までの減価償却費推移，減価償却期間の延長，現在資産の評価などを情報化して把握できる。

(4)　予算・決算時の固定資産事務

予算時，決算時に繰り返される減価償却費計算を行う。

4.2　設備管理

電気機器，機械設備の仕様・メーカー・形式・故障履歴・定期点検履歴を管理し，設備分類を体系化することによって，業務部門，建築部門，施設管理部門間の情報共有化を実現し，データ検索や使用機器の残存年数把握などを行う。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　定期点検・修繕業務

監視制御システムと連携することにより，施設内各機器の稼動時間を把握できる。**図７**に定期点検対象機器検索，修繕対象機器検索，補修履歴管理などが行える定期点検・修繕業務の画面例を示す。

(2)　故障修理業務

施設内機器の故障内容や修理内容などを個別機器ごとに管理し，履歴検索ができる。

(3)　機器台帳更新業務

機器の新設・更新・移設・撤去などに伴う台帳更新時に，関連する固定資産台帳と連携できる。

(4)　建物台帳更新業務

取得年度，取得額，延床面積などの建物情報を管理・検索できる。

4.3　図面管理

施設機器の各図面情報をデータベース化し，情報の最新性の確保，保守時・緊急時の図面検索時間の短縮化を図る。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　機器修理・修繕・定期点検業務

該当施設や機器の図面の表示・印刷や図面変更差替えが行える。**図８**に完成・関連図面の表示例を示す。

(2)　機器新設・撤去業務

図面データが関連する属性情報と連結している。

4.4　施設管理

場内施設や場外の配水管，仕切弁，消火栓，水管橋などの施設を地図と台帳でデータ管理ができる。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　配管管理業務

配管情報をデータベース化し，地図上にそのルートを描画形式で登録できる。詳細な配管情報を検索（索引図・住所検索）できる。

(2)　竣工（しゅんこう）図面管理業務

竣工図面も地図上の配管などとリンクして管理できる。竣工図の表示，印字，また登録，更新もできる。

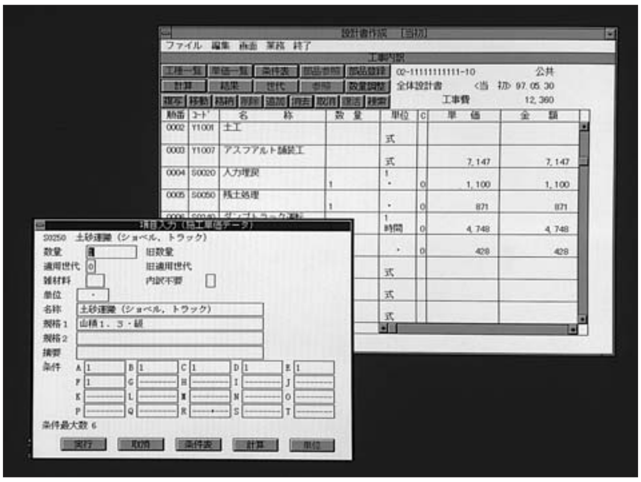
(3)　属性情報管理

配水管や弁栓の埋設場所，路線名称，布設年度などの文字情報，さらに工事写真まで検索できる。

(4)　施設情報更新業務

地図上の配管から施設情報を検索し，表示や更新，登録が可能である。

図9　基礎単価登録データの作成画面例



5　設計・計画・経営系システム

5.1　企業会計

予算編成のための事務や決算・収入・支出・振替に伴う会計上の資産価額管理を行う。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　予算事務

年度当初の予算配当をはじめ，年度途中に発生する補正予算の配当事務，予算残額チェック，予算執行状況の把握を行う。

(2)　収入事務

予算配当後の調定事務から収納・還付事務，収入科目更生，不納欠損処理を行う。

(3)　支出事務

予算配当後の支出負担行為の起案・決定をはじめ，契約・変更契約事務，検収・工事検査，支出科目更生，支出精算戻入処理を行う。

(4)　振替事務

減価償却費の計上，引当金の計上，経営赤字の補填（ほてん），利益余剰金の取崩し処理を行う。

5.2　水道料金計算

毎月の検針・徴収・集計・調定業務を受給者台帳に基づき，管理を行う。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　受付け・異動事務

新設受付時に，水栓番号を自動的に採番し，発生の都度，異動情報を入力することにより，異動履歴が自動的に登録され，過去の情報を確認できる。

(2)　検針・調定事務

ポータブルターミナルにより，手軽に検針ができる。検針完了分から，料金計算，調定，調定振替を行う。

(3)　収納事務・預り金事務

分納，過納，誤納のあらゆる「水道料金」の収納に対応できる。また，日々の収入伝票が出力される。

(4)　未収金管理

使用者ごとの未収状況を確認できる。

(5)　転居精算事務

使用者に対し，精算調停情報を提示できる。

5.3　設計積算

個々の単価データおよび積算率をもとに，工事費を自動的に積算処理し，見積書，工事設計書を自動出力できる。

システム機能は以下のとおりである。

(1)　積算処理

積み上げメニューを表示し，機能や種類を選択し，見積書を作成する。

(2)　単価改訂処理

市販のデータや他システムで作成したデータを取り込める。**図9**に基礎単価登録データ作成画面例を示す。

(3)　積上げ処理

施工条件に合った歩掛り数量と単価を積み上げ，設計書を作成する。

6　あとがき

水道事業体における水道統合情報処理システムおよびシステムメニューについて述べた。

水道事業体において，今後ますます設備保全方式の改善や保全費用の軽減をめざして，業務の効率化，情報管理システムの構築が求められる。

今後も，システム構築にあっては，業務分析から企画，導入，運用支援，保守まで一貫したソリューションサービス業務の必要性が高まると予想される。富士電機は，水道事業体関係各位に，水道統合情報処理システムを核としたソリューション技術を提供していく所存である。

参考文献

(1)　難波英二ほか：パソコンを用いた浄水場設備維持管理システム，第48回全国水道研究発表会講演集（7-11），p.452-453（1997）

(2)　佐々木裕一ほか：水処理分野のコンピュータシステム，富士時報，Vol.70，No.2，p.131-135（1997）

水処理システムを支えるエンジニアリング技術

山口　裕介（やまぐち　ゆうすけ）　小峰　正勝（こみね　まさかつ）　佐藤　守（さとう　まもる）

1　まえがき

エンジニアリングとは「システムの構築の推進，設備の建設などのライフサイクルにかかわる手段・手法」と定義することができ，人間の知的作業に依存するところが大きい。エンジニアリング業務は，設備の高度化・大規模化に伴いその内容も急速に複雑化・大規模化し，全体コストに占めるエンジニアリング費は大きなウエートを占めるようになってきている。また，エンジニアリングの良しあしが，システム全体の品質およびコストに反映するため，エンジニアリング業務そのものが注目されるようになってきた。

近年のわが国の公共事業を取り巻く情勢において，入札契約制度の改革，国際化（GATT）対応などにより，コスト縮減や品質確保の要請などが急務になってきている。また，行政改革の一環として，各種の規制緩和や公的分野の情報化の推進が強く求められており，公共事業においてもその執行の効率化と省力化の要請が求められている。

本稿では，近年ますます重要性が増しているエンジニアリング手法・技法における CALS（Commerce At Light Speed）の適用について，建設省推進の CALS の紹介と富士電機の企業内 CALS の取組みについて紹介する。

2　CALS

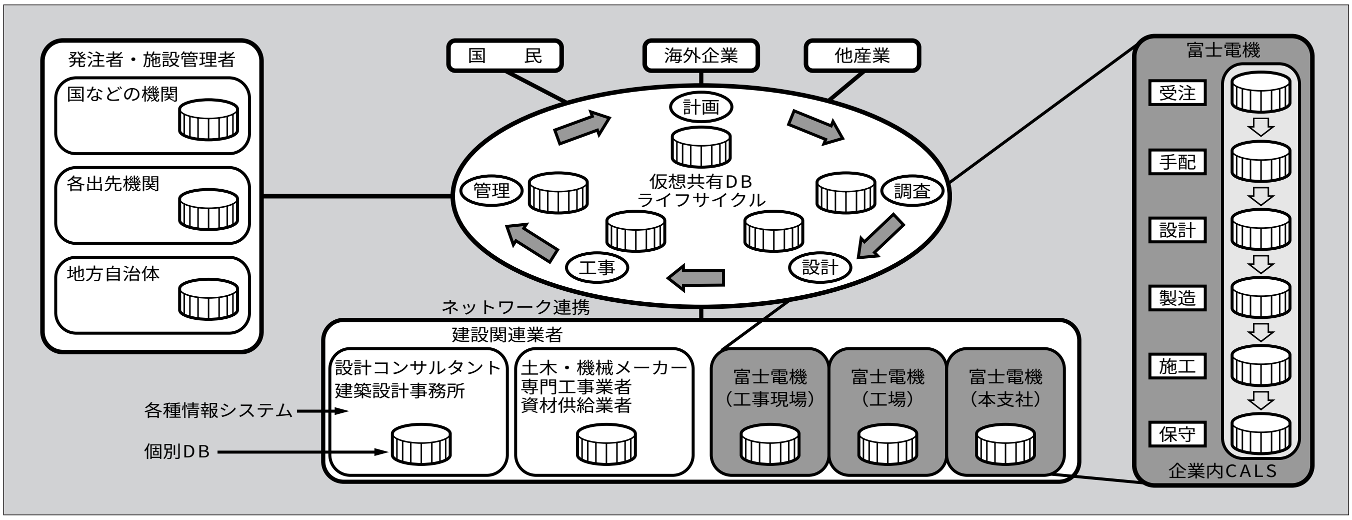
米国国防総省主導で始まった CALS は，その意味合いを変遷しながら，現在では民間主導による世界規模での展開がなされており，CALS は時代の潮流になっている。

日本の民間事業では，通商産業省の指導で CALS への取組みが積極的に行われており，公共事業においては，建設省が進める「公共事業支援統合情報システム研究会」において「建設 CALS/EC（Electric Commerce）整備基本構想」が取りまとめられている。

この建設 CALS は，建設事業における計画，設計・積算，入札・契約，工事・施工，維持・管理といったプロジェクトの全段階を CALS で行い，トータルコストの低減，業務の効率化，品質の向上をめざしたものであり，1997年に「アクションプログラム」が策定され，具体的な実証フィールド実験が実施されている。

図１は，公共事業における CALS と企業内 CALS のイメージである。公共事業の CALS は，官民協調によるネッ

図１　公共事業の CALS と企業内 CALS のイメージ



山口　裕介

上下水道用電気・計装システムの施工管理に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部サイトエンジニアリング部主席。

小峰　正勝

上下水道用電気・計装システムの試験，施工管理に従事。現在，システム事業本部事業統括部施工部課長。

佐藤　守

公共分野のエンジニアリング支援システムの企画開発に従事。現在，システム事業本部公共システム事業部業務部課長。

トワーク上でのライフサイクルにかかわる業務・情報を統合的に支援できる環境である。

3　富士電機の CALS への取組み

富士電機では，通商産業省の企業間高度電子商取引推進事業の開始に伴い，CALS 技術研究組合および CALS 推進協議会に参画して，実証研究および普及・啓蒙に取り組んでいる。

また，CALS の取組みと同時に，情報化武装をキーワードに，パーソナルコンピュータ（パソコン）の一人 1 台化，ネットワークの拡充，全社基幹システムの再構築など情報インフラストラクチャを整備し，データの電子化・情報共有化・ペーパーレスをめざして，関係会社を含むグループ全体の業務変革を推進している。

3.1　プラント品手配基幹システム

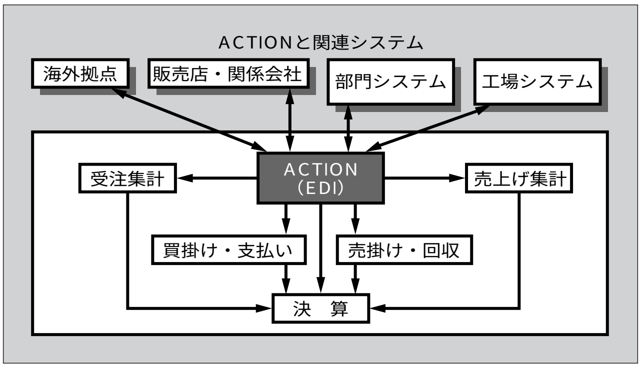
今までの富士電機のプラント品手配基幹システムは，業務のくくりごとに単機能なシステムで構成されており，システムのつなぎごとにデータの再入力が必要であったり，情報公開が部分的であるなどの問題があった。

また，これからの企業経営にあっては，営業，設計，製造，物流，現地工事などの業務を担当する関係部門の連携がますます重要となり，グループ全体のビジネスプロセスを対象とした業務変革が求められている。

このことからシステムの再構築にあたっては，新システムはグループ内の情報共有化を最大目標とし，受注生産品の F（機能），Q（品質），C（コスト），D（納期），S（安全）の向上，および間接部門の効率化を狙いとした「受注・手配・売上げ・進捗（しんちょく）管理」を支援する統合システムをめざしている。本基幹システム（ACTION）と社内各部門および関係会社の情報システムとの連携により，グループ全体の情報共有化を推進している（**図2**）。

この基幹システムは，24 時間運用を目標にホストコンピュータ，サーバ，パソコンを WAN・LAN 経由で接続した形態で構築されている。

図2　プラント品手配基幹システム（ACTION）



3.2　公共事業部門総合情報システム

公共事業部門は全国の自治体を顧客としているため，多数の営業拠点と多くの現地が点在しており，ネットワークでの業務連携が重要となっている。

全社的な情報化武装の推進により，社内ネットワークや ISDN などの社内外の通信インフラストラクチャの整備とインターネット技術，モバイル技術など情報処理技術が飛躍的に進歩したことにより，従来の業務支援システムを統合し，関係部門・現地建設事務所・関係会社を含めた総合情報システム（**図3**）を構築し，エンジニアリング業務変革の手段として情報化を推進している。

図3　公共事業部門総合情報システム

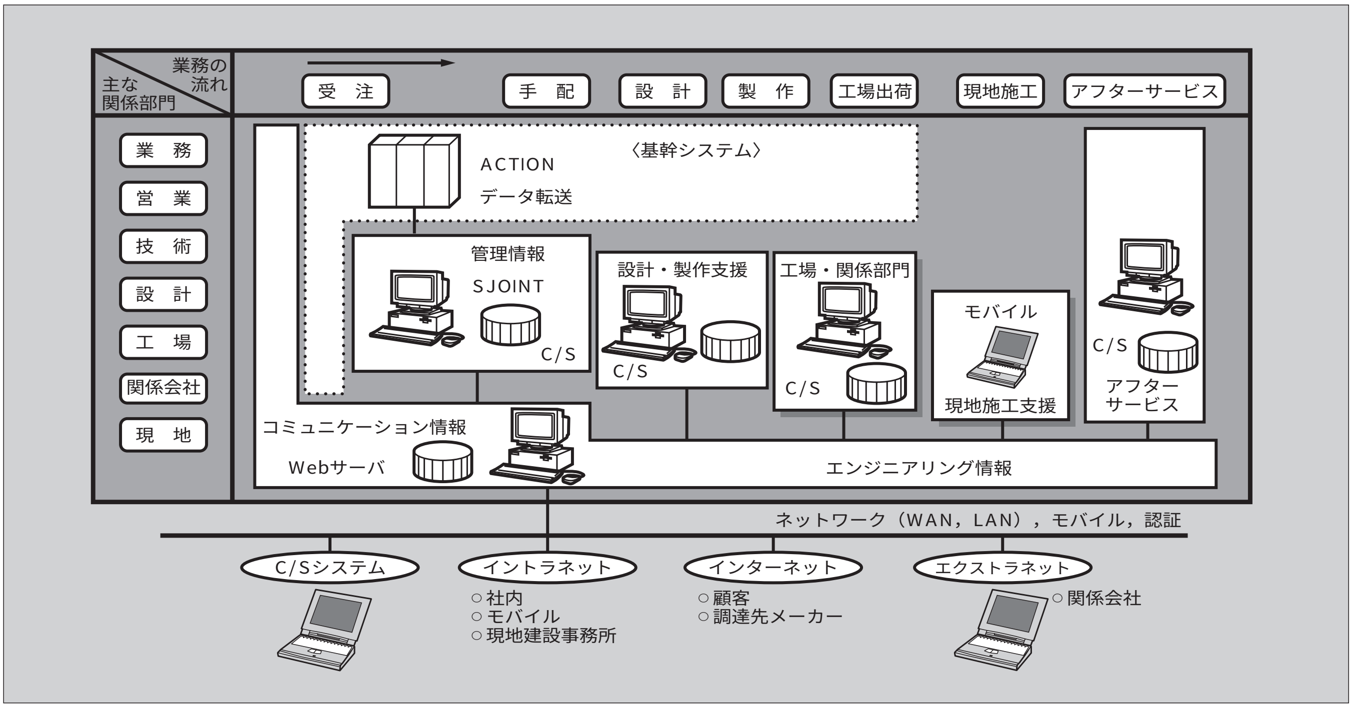


図４　公共事業部門のイントラネットホームページの例

そこで，公共事業部門では，企業内CALSとして，受注から現地施工・保守までの製品ライフサイクルにおける情報（コミュニケーション情報，管理情報，エンジニアリング情報）をコンテンツとしたイントラネット，および関係会社との情報交換・業務連携を含めたエクストラネットとして構築し，利用を開始した。

以下に本イントラネットの情報共有化について記す。

(1)　コミュニケーション情報の共有化

プロジェクトを円滑にし，参加するメンバーの意思を一つの方向に向け，プロジェクトの目的を達成するために，メンバーのコミュニケーションは重要である。ネットワーク化・ディジタル化は，情報の伝達における場所と時間の拘束をなくすことが可能である。

コミュニケーション情報共有化のため，電子メール，電子掲示板，電子会議室，スケジュール管理などをイントラネット上に構築し，情報共有化の一歩として利用している。

(2)　管理情報の共有化

個々のプロジェクトを受注から現地施工およびアフターサービスまでの一貫した業務（情報）の流れとしてとらえ，それらの業務のなかで主に事務処理業務を効率的に行う目的と，他部門と情報交換すべき情報や別業務においても流用する情報（例：受注・手配・現地情報など）を共有化する目的で，事業部内部門システム（SJOINT）を1993年に構築し，業務に適用してきた。

このシステムの構成は，データベースソフトウェアを中心に据え，ISV（Independent Software Vendor）ソフトウェアを利用したC/S（Client & Server）方式で構築され，定形的な管理情報の登録・閲覧と各種帳票の出力を可能にしている。

また，前述の基幹システムACTIONとのデータの二重入力を回避するため，手配情報はACTIONを使用し，事業部側の手配情報だけでなく工場側の情報も含め，ACTIONからSJOINTへデータを自動転送し，SJOINTで常に最新の手配データが利用できるように連携を図っている。

(3)　エンジニアリング情報の共有化

プラントシステム品を製作・施工・保守するためには，コミュニケーション情報・管理情報だけでは不十分であり，連絡書，仕様書，図面などのエンジニアリング情報が不可欠となる。

受注から現地施工までのプロセスで，上記の情報は上流工程から下流工程に加工・変換され，新しい情報が生成され膨大な量の情報へと引き継がれていく。その間に，各工程での変更や人為的ミスに対しても変更作業・管理を行わなければならない。また，システム品のエンジニアリング業務にかかわる作業量・情報量は納入システムの大規模化・複雑化に伴い，増加傾向にある。

そこで，富士電機は従来からCASE（Computer Aided System & software Engineering）技術を導入したシステムを構築し，生産性の向上と納入システムの品質向上を図ってきた。

しかし，上記の活動も社内の限られた部門での情報共有化であり，事業部・工場・現地・関係会社を含めた組織間のエンジニアリング情報の交換には，多くの労力が必要であった。また，プラントビジネスで利用する情報には，各種文書，図面，写真，ビデオ，表計算，データベースなどがあり，これらのディジタル情報の流通，および過去の資産情報のディジタル化と流通・交換については，技術的課題が多く，情報交換のための標準化を進めるEDI（Electric Data Interchange）化実現技術に期待するところが大である。

図４は公共事業部門のイントラネットのトップページである。

3.3　プロジェクトホームページ

公共事業部門のイントラネットシステムでは，受注から納入・保守までの情報をプロジェクトにかかわる全員が共有し，情報伝達のスピードアップ，情報の同時化を図り，個々のプロジェクトを円滑に推進するために，プロジェクト単位に情報の管理を行っている。

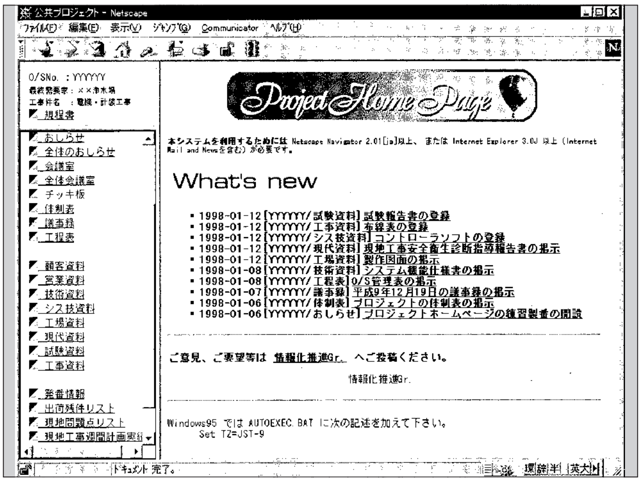
プロジェクトごとの情報は，1プロジェクト1ホームページ（**図５**）の形態をとり，このなかに共有する情報を登録・閲覧し，このホームページを見ればそのプロジェクトに関係する情報がすべて分かるようになることをめざしている。

後述の各種支援システムや管理システムで作成される情報およびコミュニケーション情報をエンジニアリングで必要なFQCDS情報として，公開掲示することで共有化を行う仕組みである。

しかし，この仕組みは情報がディジタルで作成され，パソコンなどのOA機器で扱えることが前提である。社内での情報は，仕様書，製作図面など，ワードプロセッサ・CAD化が推進されているため，ディジタル化は容易であるが，シームレスな情報の交換・再利用には至っていないのが現状である。

例えば，図面の流通では，各組織で利用してきたCADが統一されていないため，データ交換を含めた部門間の情

図５　プロジェクトホームページの例



報交換にはまだ課題が多く，また，設計部門以外はCADソフトウェアの導入はなく，必要なときにその情報を閲覧もしくは再利用できないのが現状である。

そこで，流通に適したPDF（Portable Document Format）ファイルを採用し，CAD図面，過去の紙ベースの資産もラスタから変換し，インターネット技術による情報の流通の評価を行っている。

また，C/Sシステムで登録された管理情報，データベース情報は，Webサーバとデータベースの連携により，Webブラウザを介して，プロジェクト単位にその情報の入手閲覧を可能にしている。また，閲覧情報はCSV（Comma Separated Value）形式で取り込み，表計算ソフトウェアで集計・加工の再利用を可能にし，各部門の管理業務の精度向上にも寄与している。

Webブラウザを利用したデータベースの登録機能をCGI（Common Gate Interface），Java〈注〉スクリプトで構築し，業務システムとしての利用評価も開始している。

エンジニアリング業務で共有化すべきコンテンツ・情報メディアは種々あり，そのディジタル化技術と流通における検印や確認のワークフロー技術，情報の変更管理技術およびセキュリティ技術などのCALS要素技術の進展が望まれるところである。

3.4　設計・製作支援システム

エンジニアリングにおける設計・製作・製造・試験業務については，従来から機械化・自動化が進められている。

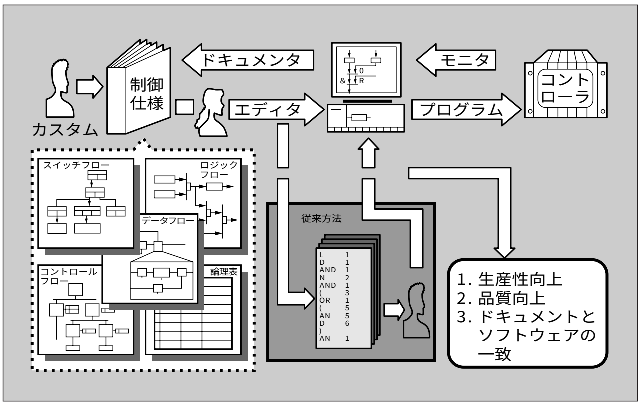
制御システムの構築に情報機器が中心的役割を担うようになってきている現在のシステムでは，そのソフトウェアにかかわるエンジニアリングの品質向上と生産性向上がさらに望まれている。

富士電機では，水処理分野向けの監視制御システムFAINSだけでなく，他分野向け制御システムを統合的に支援できるエンジニアリング環境を構築し利用している。

本支援システムは，上流工程のエンジニアリング情報か

〈注〉Java：米国Sun Microsystems, Inc.の登録商標

図６　仕様記述からのソフトウェア生成



ら下流工程の情報を自動生成することにより，品質および効率向上をめざしている。そのため，システム設計，ソフトウェア設計，試験の工程について，

(1)　各工程の作業環境の統合化
(2)　各工程データの一元管理
(3)　ソフトウェア仕様記述表現の高水準化
(4)　仕様記述からの制御用ソフトウェアの自動生成
(5)　仕様記述からのエンジニアリング情報の抽出

を基本コンセプトとし，共通プラットホーム上に各種業務パッケージ群を統合的に利用できる環境を提供している。システム構成としては，データを一元管理するサーバとクライアントからなるC/Sシステムの形態をとっている。生成された情報はプロジェクトホームページに公開登録され，他部門へのエンジニアリング情報としての伝達と下流工程での転記・加工に利用されている。

図6に仕様記述からのソフトウェアの生成の概念を示す。

3.5　現地施工支援システム

近年，上下水道プラントの電気設備は大規模化・高機能化・複雑化しており，その工事にあたっては，現場における施工管理がますますその重要性を増している。現場においては会社を代表する立場にある「現場代理人」が施工に関する権限と責任を有し，その責務は施主から注文された工事を期間内に支障なく竣工（しゅんこう）させて，施主から満足していただくことにある。

現地施工管理業務を**図7**に示す。現場代理人はその工事遂行の目的を十分理解し，設計図，仕様書，関連法規，その他契約事項に従って工事（工程，資材，品質，労務，安全，事務，原価など）を管理する必要がある。

また，現場に常駐する現場代理人は，現場で作業する部下・作業者に対して常にリーダーシップをとって事にあたり，的確な指示・命令・指導を行うと同時に，対外的には施主・設計者・建築会社・機械メーカーに対し，綿密なる連絡をとりお互いの考え方の一致を図って工事遂行にあたる必要がある。

しかし，現場は今まで情報の孤島として扱われてきた。現地工事は，仮想的な工場のように運営されているが，工場に見られる生産合理化システムやネットワークによる業

図７　現地施工管理業務

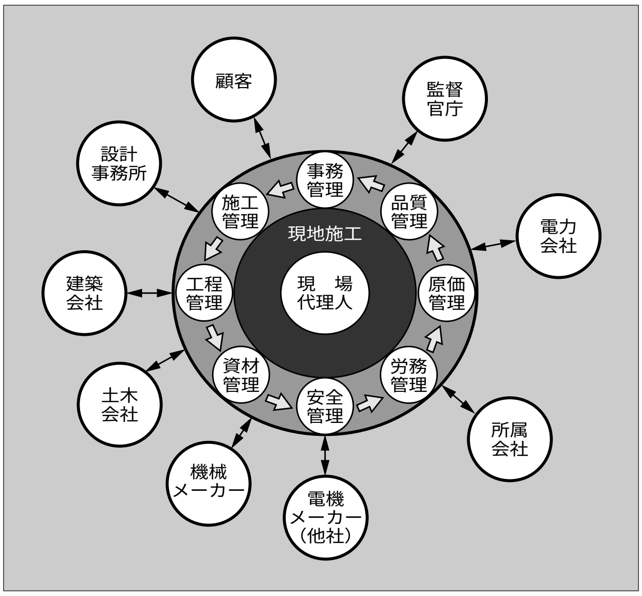


図８　現地週間工程計画実績表のホームページの例

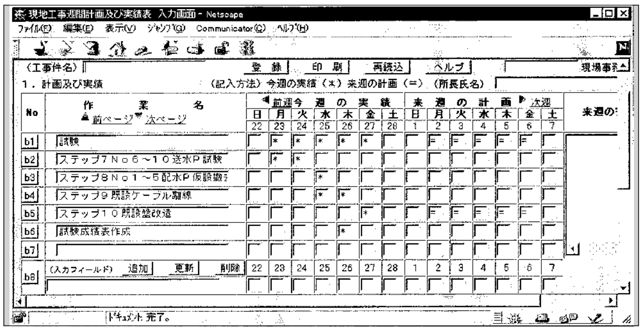
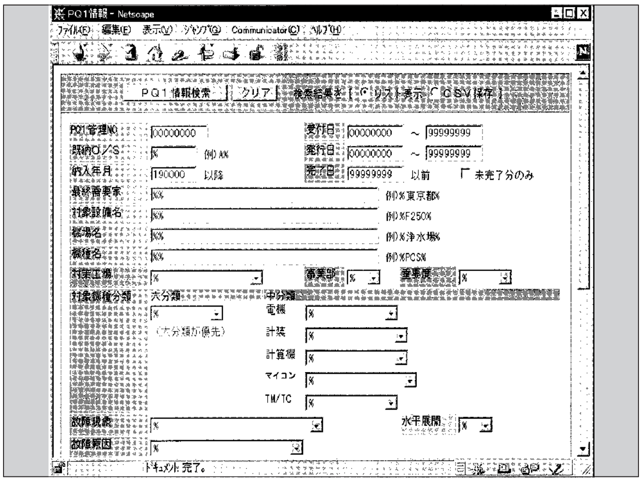


図９　障害情報検索のホームページの例



務支援などは技術面・コスト面からも課題が多い。

そこで，富士電機ではモバイルネットワーク環境構築に伴い，全国の公共工事のプロジェクトにおいて，社内と現地の情報をインタラクティブに情報交換できる環境を構築し，試行的利用を開始した。現地施工支援システムは，現場代理人の業務の効率化と工事に参加する関係者との情報伝達のスピードアップなどを図り，施工管理技術の質的向上とコスト削減をめざしている。

モバイル環境は，社内 LAN への接続に個人認証サーバを設けることにより，セキュリティの確保と ISDN ・公衆回線を利用した接続形態を取り，インターネット技術を活用した情報交換手段の採用により，操作性の統一，操作の簡便性，システム全体の保守性の向上を図っている。

前述のプロジェクトホームページに，プロジェクト単位に現地の情報も集約させることで，社内と現地の情報共有化を実現し，現地での各種図面・資料などのファイル掲示・再利用を容易にしている。また，全国に分散する現地に赴く現場代理人に通知徹底するため，現場工事にかかわる法規関連情報，安全衛生に関する社内規程や業務マニュアルをディジタル化し掲示することで，最新情報が容易に取り出せるようにしている。また，配付や改定時の通知を行う社内管理部門の業務も軽減が達成でき，かつ従来の紙による郵送・宅配による流通に比し，格段のスピード革新が達成されると予想されている。

しかし，現地業務に携わるなかでの現場代理人の情報リテラシーの向上は，社内人員に比べ，その機会を含め難しい現状もあり，パソコンの操作性向上や技術革新に期待するところも大である。

図８は現地の週間工程計画実績表のホームページの例である。

3.6　保守・品質管理システム

上下水道施設は，長期にわたり常時安定稼動し，ライフラインとして人々の生活を支えなければならない。

CALS の当初の目的は，維持管理のコスト縮減である。納入設備にかかわる膨大な装置・部品の図面，取扱説明書などのドキュメントをディジタル化することで，必要な情報を必要なときに瞬時に得られる状況を構築することである。

このために，CALS では取扱説明書などの技術文書に関する IETM（Interactive Electronic Technical Manual）などの要素技術開発も進められている。

富士電機では，顧客向けの維持管理システムを納入するとともに，障害発生を未然に防ぐ予防保全，障害発生時に迅速な障害復旧を行う事後保全，また顧客の個々の保全システムのサポートを行う保全支援などのサービスを提供している。

また監視制御システムに関しては，リモートメンテナンスシステムを構築し，通信回線による遠隔診断・障害修復と保全情報管理を支援する保守サービスも提供している。

しかし，納入後の時間経過や環境による劣化などによる障害を 100 %避けることができないため，その影響をいかに小さくするかがシステム設計の課題であり，納入後の障害に対し，いかに迅速に復旧・修復を行うかがメーカーのアフターサービスの基本である。

そのため，富士電機では納入品機器情報，保守情報，品質情報，修理品情報，点検情報などをデータベース化し，グループ全体として情報の共有化を推進している。システ

ムの設計段階において，類似システムの障害発生記録や保守情報を参照することで，システムの改善提案やパーツの選定などを行える環境を構築してる。

また，障害発生時においては24時間対応で，障害の第一報を迅速に社内関連部門に通知する仕組みとして，支社・サービス拠点への端末の設置を行うとともに，類似障害の検索による対応の迅速化などを情報システムを活用し実現している。

公共事業部門では，この情報をイントラネットで公開し，関係部門と広域的に品質情報の共有化を推進している。

図９は障害情報の検索画面の例である。

4　あとがき

水処理システムを支えるエンジニアリング技術について，支援システムを中心に，情報共有化の視点からその取組みについて紹介した。

「データは一度だけ作成し，何度も使う」というCALSのコンセプトは，ディジタル化された情報の閲覧・加工・変換・生成を製品・設備の全ライフサイクルにわたって行うことであり，紹介した事例は，上下水道プラント製品に対する受注から納入・保守までの企業グループ内におけるCALSである。

現在，公共事業ではISO9000S（品質ISO），ISO14000（環境ISO）の適用が検討されており，富士電機としてもISO認証の拡充を行っている。ISOを推進するための徹底した文書化（手順およびエビデンス）による書類増大にも，本CALSが有効な手段と考えられ，ISO文書管理のCALS化も進めているところである。

以上，富士電機のCALSは緒についたばかりであるが，世界規模の取組みであるCALS化実現のために，今後も企業内CALS化の推進とそのなかで養った経験・技術をCALSの普及・啓蒙に努力していく所存である。

参考文献

(1)　明野和彦：建設CALS/ECアクションプログラム，CALS Expo International 1997 論文集，p.9-13（1997）
(2)　古村紀夫ほか：電機業界を取り巻く高度情報化の動向――情報共有化への取り組み，電機，No.2，p.32-36（1998）
(3)　引地正則・林殿勉：統合エンジニアリング支援システムの

最近登録になった富士出願

〔特　　許〕

登録番号	名　　称	発明者
2744647	遠隔制御・通話装置	長島　清貴 梅原　篤樹
2744680	薄膜太陽電池の製造方法	藤掛　伸二
2745691	電圧形インバータの電流制限方式	蓑和　弘文 山添　　勝 柳瀬　孝雄 石井　新一 長尾　義伸
2745698	横軸水車発電機の軸受冷却装置	東　　　泉
2745728	インバータの制御方法	山形　繁男 清水　敏久
2745758	漏電遮断器	岡野　芳郎
2745766	ペブルベッド型高温ガス炉	山田　正夫 早川　　均
2745776	燃料電池発電システム	広田　俊夫
2745780	超電導磁石	保川　幸雄
2745783	自動販売機	古賀　恒治
2745793	真空バルブ	國分多喜雄
2745795	複数電動機の同期運転方法	長尾　義伸 松枝　弘宣
2745812	カップ式自動販売機の原料取出装置	津田　修平 佐藤　俊博 藤本　規夫
2746074	アモルファスシリコン太陽電池の製造方法	梅本　美之 飯島　正男 宮城　正英 村松　義久
2746315	波長変換装置	田沼　良平
2746324	物流設備	中村　雄有 上田恵一郎 入江　善朗 保志東洋一 川上　元造
2746325	伝導度変調型たて型MOS-FET	関　　康和
2746331	プラント監視システム	鈴木　哲雄
2747098	共有資源の排他制御方式	高橋　　徹

FUJI ELECTRIC

主要営業品目

電　機

電動機，可変速装置，誘導加熱装置，誘導炉，産業用電源装置，クリーンルームシステム，非常用電源装置，コンピュータ用電源装置，舶用電気品，車両用電気品，変圧器，遮断器，ガス絶縁開閉装置，電力変換装置，原子力機器，火力機器，水力機器，発電機，新エネルギー発電システム，発電設備用保護・監視・制御装置，発電設備用コンピュータ制御装置，誘導電動機，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，ポンプ，ブロワ，電磁開閉器，操作・表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，汎用モールド変圧器，電力制御機器，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，多重伝送システム，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ，可変速電動機

制御・情報・電子デバイス

コンピュータ制御装置，運転訓練・系統解析シミュレータ，電力量計，放射線モニタリングシステム，保護・監視・制御装置，マイクロコントローラ，水処理装置，遠隔制御装置，オゾン処理システム，電気集じん機，FA システム，電話自動選択着信装置，レーザ応用装置，ビデオセンサ応用装置，工業計測制御機器，分析機器，放射線計測機器，OCR，磁気記録媒体，複写機・プリンタ用感光体，パワートランジスタ，サイリスタ，シリコン整流素子，集積回路，パワーハイブリッド IC，サージアブソーバ，半導体センサ，スイッチング電源

業務用民生機器ほか

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，ホテルベンダシステム，カードシステム

富士時報	**第 71 巻　第 6 号**	平成 10 年 5 月 30 日　印刷 平成 10 年 6 月 10 日　発行 定価 525 円（本体 500 円・送料別）
編集兼発行人	沢　邦彦	
発行所	富士電機株式会社内 「富士時報」編集部	〒100-8410 東京都千代田区有楽町一丁目 12 番 1号 （新有楽町ビル） 電話　東京（03）3211 ― 7111（大代表） 〔編集室：電話　東京（03）3211―1168〕
印刷所	富士電機情報サービス株式会社	〒151-8520 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話　東京（03）5388 ― 8241
発売元	株式会社　オーム社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電話　東京（03）3233― 0641（代表） 振替口座　東京　6 ― 20018

© 1998 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan （禁無断転載）

富士時報論文抄録

地球環境を守る水処理技術の動向と展望

伊藤　晴夫　　風間　清　　土屋　泰則
富士時報　Vol.71 No.6 p.311-315（1998）

地球温暖化など，地球規模での環境問題が数多く発生している。これらは上下水道分野と深いかかわりを持っている。また，上下水道事業をとりまく社会環境も，危機管理や公共工事コスト縮減など，大きく変化している。一方，ソリューション技術の進歩にもめざましいものがみられ，上下水道を対象とした数多くの研究開発を推進している。本稿では環境の変化と中長期的な国の施策を整理し，将来を見据えた水のソリューション技術の動向と展望について述べる。

水処理施設における新エネルギー技術

中原　泰男　　山本 総一郎　　徳弘　勝由
富士時報　Vol.71 No.6 p.316-323（1998）

大半を化石燃料に依存するエネルギー消費がそのまま増加するとCO_2，SO_x，NO_xの排出量が増大し海面上昇，森林破壊などのエネルギー系環境問題が深刻化する。この解決策の一つとして，非化石燃料化を目的とする新エネルギーの導入がある。本稿では，地球環境問題とエネルギーのかかわりについて整理するとともに，率先導入が期待されている水処理施設における新エネルギー技術とその導入例を紹介する。

水処理施設における省エネルギー技術

竹原　廣人　　麻田　雅宣　　佐藤　匡則
富士時報　Vol.71 No.6 p.324-329（1998）

水処理施設における省エネルギーへの取組みは，過去二度のオイルショックを契機に推進され，すでに基本的な考え方や意識は定着している。しかし，近年，地球環境問題への国際的な関心の高まりと，具体的な施策や目標値が打ち出されたことにより，従来より格段に厳しい取組み努力が必要になってきた。本稿では，水処理施設に関連するエネルギー環境，関連法規，導入促進事業について整理し，水処理施設への①省エネルギー機器，②省エネルギー制御システム，③ピークカット制御，の導入例を紹介する。

危機管理に向けた上下水道の防災技術

蓮本　了遠　　宮本　章広　　末田　誠
富士時報　Vol.71 No.6 p.330-335（1998）

水環境やライフラインの中核として，上下水道における防災意識が非常に高まってきた。本稿では，上下水道における災害要因を抽出するとともに，災害対応の考え方を「災害対応のサイクル」として整理する。また，災害に対するソリューション技術として「電源技術」「センサ技術」「情報通信制御技術」の三つに分けて，具体例を紹介する。特に，情報通信制御技術のなかで，「あるべき災害対策本部の姿」を提案する。

クリプトスポリジウム対策としてのオゾン消毒技術

田中　義郎　　高橋　和孝　　本山　信行
富士時報　Vol.71 No.6 p.336-341（1998）

近年，クリプトスポリジウムなどの病原性原虫が，水道に混入し激しい下痢などを引き起こすとして，大きな関心を集めている。本稿では，クリプトスポリジウムのオゾン消毒による不活化の実験と海外でのクリプトスポリジウムのオゾン消毒の事例を紹介する。実験結果は，①低濃度の溶存オゾンでクリプトスポリジウムを90～99%不活化できることを確認し，②クリプトスポリジウムの不活化は*Ct*値で評価できるが，脱嚢（だつのう）試験とDAPI/PI染色試験による不活化評価法の違いにより*Ct*値に相違があることを確認した。

トリハロメタンの検出と低減化技術

多田　弘　　大戸 時喜雄
富士時報　Vol.71 No.6 p.342-346（1998）

水道水中のトリハロメタンは，浄水場での消毒副生成物質であり，発がん性があり，浄水場から給水までの区間でその生成が増加する。トリハロメタンは，飲み水だけではなく，風呂，プールなどの生活面で人体への暴露があることから水道の大きな話題となっている。富士電機は，世界で初めてトリハロメタンを自動測定できるセンサとトリハロメタン増加予測機能を開発し，東京都水道局との3年間の共同研究を通して水道施設内のトリハロメタン量の実態把握と活性炭処理などによるトリハロメタン低減化対策の管理目標値の評価を可能にした。

突発性水質事故とセンサ技術

福田　政克　　田中　良春
富士時報　Vol.71 No.6 p.347-351（1998）

河川において不注意による油類の流出や廃棄物の不法投棄などの水質事故が多発している。富士電機は水質事故の自動的な検出のため，バイオアッセイの手法を利用した水質安全モニタを製品化した。また油類の検出のための油膜センサを開発中である。さらに河川水質事故の集中管理と，迅速な被害対策を支援する河川水質管理システムを提供している。ここでは特にモデルチェンジを行った水質安全モニタについて製品仕様の紹介と，これまでに納入した製品の運用状況の解析と導入状況の実例を紹介する。

下水道プロセスにおける計測制御技術

高見澤 真司　　夜明　徹　　青木　隆
富士時報　Vol.71 No.6 p.352-357（1998）

現在，西暦2000年に向けて「人口普及率66%」「雨水対策整備率55%」「高度処理人口1,500万人」をめざして第8次下水道整備5箇年計画が推進されている。本稿では，この計画推進に関連して，富士電機が開発した下水脱水用凝集コントロールシステム，降雨予測雨水ポンプ制御システム，高度処理運転支援シミュレーションシステムについてその概要を紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

New Energy Technologies for Water Treatment Plants

Yasuo Nakahara   Souichirou Yamamoto   Masayoshi Tokuhiro
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.316−323 (1998)

If energy consumption mostly dependent on fossil fuels increases untouched, increases in discharged CO_2, SO_x and NO_x will give rise to serious environmental problems such as the rise of the sea level and forest destruction. A solution for this is to introduce new energy not to use fossil fuels. This paper reviews relations between global environmental problems and energy and introduces new energy technologies and applications in a water treatment plant which is expected to take the lead in introducing new energy.

Trends of Environment-Conscious Water Management Technology

Haruo Ito   Kiyoshi Kazama   Yasunori Tsuchiya
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.311−315 (1998)

There have been many environmental problems on a global scale such as global warming. These have a close relation to water and sewage treatment plants. Social environments around these plants have greatly changed as represented by risk control and reduced public work costs. On the other hand, remarkable progress in solution technologies has promoted many researches and developments for water and sewage treatment plants. This paper reviews environmental changes and governmental middle and long-term policies and describes trends of solution technologies for future water and sewage treatment.

Disaster Prevention Technology for Crisis Management on Water and Sewage Treatment

Ryoon Hasumoto   Akihiro Miyamoto   Makoto Sueta
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.330−335 (1998)

The consciousness of disaster prevention for water and sewerage systems as the core of water environment and lifelines has been greatly raised. In this paper, the factors of disasters in water and sewerage systems are extracted and also the ways of thinking for disaster prevention are arranged according to “the cycle of disaster prevention.” Solution technologies against disasters are classified into technologies for “power supply,” “sensors” and “information transmission control” and actual examples are quoted. In particular, “the proper administration against disasters” is proposed in the description of the information transmission control technology.

Energy-Saving Technologies for Water Treatment Plants

Hiroto Takehara   Masanori Asada   Masanori Sato
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.324−329 (1998)

Energy saving in water treatment plants was promoted in the past two oil crises and the basic way of thinking and consciousness of energy saving have taken root. Recently, however, international concern about global environmental problems has been getting popular and concrete policies and targets have been announced. This demands particularly more serious efforts to tackle the problems. This paper reviews energy environments, related regulations and advised improvements for water treatment plants, and describes examples of introduced energy-saving equipment, energy-saving control systems, and peak-clipping control systems.

Technologies for Trihalomethane Detection and Reduction

Hiroshi Tada   Tokio Oto
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.342−346 (1998)

Trihalomethane in city water, a by-product from the disinfection in purification plants, is carcinogenic and increases in quantity between the purification plant and supply points. Trihalomethane, exposed to the human body not only in drinking water but also in every-day life such as in baths and pools, is a serious issue of waterworks. Fuji Electric first in the world developed a trihalomethane sensor capable of continuous measurement as well as a function to predict trihalomethane on the increase. These have made it possible to grasp the actual amount of trihalomethane in a waterworks and evaluate the control level of trihalomethane reduction methods such as activated charcoal treatment.

Disinfection Technology with Ozone for Cryptosporidium

Yoshio Tanaka   Kazutaka Takahashi   Nobuyuki Motoyama
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.336−341 (1998)

Recent news that pathogenic protozoa including cryptosporidium into the drinking water caused violent diarrhea has been a matter of great concern. This paper introduces an experiment on the inactivation of cryptosporidium by ozone disinfection and an overseas example of ozone disinfection of cryptosporidium. The experiment confirmed (1) low-concentration dissolved ozone could inactivate cryptosporidium from 90 to 99%, (2) the *Ct* value used for the evaluation of cryptosporidium inactivation is different according to evaluation methods, in vitro excystation or DAPI/PI dyeing tests.

Instrumentation and Control Technology in Sewerage Systems

Shinji Takamisawa   Toru Yoake   Takashi Aoki
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.352−357 (1998)

The 8th five-year sewerage system improvement scheme is promoted aiming at “coverage over 66% population,” “55% completed measures against rainwater” and “advanced water treatment for 15 million people” in 2000 A.D. This paper outlines the coagulation control system for sewage dehydration, the rainfall prediction and rainwater pump control system, and the simulation system for supporting advanced treatment operation, which Fuji Electric developed in connection with the scheme promotion.

Sensing Technology for Accidental Spill of Chemicals to Water Environment

Masakatsu Fukuda   Yoshiharu Tanaka
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.347−351 (1998)

On rivers, water quality defectives are often caused by careless oil discharge and unlawful waste abandonment. Fuji Electric has marketed acute toxicants monitors using a bioassay technique to automatically detect water quality defectives. Also an oil film sensor to detect oils is under development. In addition, we have marketed river water quality management systems that support centralized river water quality control and quick measures to manage the defectives. This paper introduces specifications for the restyled acute toxicants monitor and examples of analyses of operation records and working conditions of the supplied monitors.

オープン化・情報融合をめざす上下水道用新監視制御システム

赤松　和彦　　八代　一伸　　吉田　昭
富士時報　Vol.71 No.6 p.358-363（1998）

上下水道監視制御システムは，生活環境整備の一環としてのライフラインの安定稼動，安全確保のために必要不可欠となっている。
富士電機の FAINS-AX は，ネットワーク，オープン，ダウンサイジング，マルチメディア（ネ・オ・ダ・マと呼ばれている）などの技術を応用し，プラント制御のノウハウとオープン化技術に基づいた情報システムとの融合を実現させた新しい監視制御システムである。本稿では，システムの構成および機能と特長について紹介する。

効率経営をめざした水道統合情報処理システム

佐川　学　　髙城　正文　　伊藤　修
富士時報　Vol.71 No.6 p.364-369（1998）

近年，水道事業体においては，社会の高齢化・少子化が進んでいること，公共工事コストの縮減により，今後，人の確保が難しくなると考えられ，業務効率の向上が課題となっている。このような背景から従来の運転・監視・制御機能に加えて，保守・設備維持などのより広範な管理機能を統合することが急務となってきた。水道事業の統合化を実現するためには，コンピュータ技術，ネットワーク技術，マルチメディア技術などの技術革新が鍵（かぎ）となる。本稿では，水道統合情報処理システムについて紹介する。

水処理システムを支えるエンジニアリング技術

山口　裕介　　小峰　正勝　　佐藤　守
富士時報　Vol.71 No.6 p.370-375（1998）

システム構築の推進，設備の建設などのライフサイクルにかかわる手段・手法であるエンジニアリングは，システム全体の品質およびコストに大きく影響するため，業務そのものが注目されるようになってきている。近年，公共事業においても公的分野の情報化の推進が強く求められており，その執行の効率化と省力化の要請がなされている。本稿では，その施策としてエンジニアリングへの CALS 技術の適用について，建設省推進の CALS の紹介と富士電機の企業内 CALS の取組みについて紹介する。

Information Processing System for Water Service Integration Aiming at Efficient Management

Manabu Sagawa Masafumi Taki Osamu Itoh
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.364−369 (1998)

Recently, the old have increased but the young have decreased, and public work costs have been cut down. It will be difficult for the water service to employ workers, and improvement in work efficiency is a current subject. Therefore, the integration of wider management functions, such as inspection and maintenance in addition to conventional operation, supervision and control functions, has become an urgent matter. Technical innovations in computer, network and multimedia technologies are the key to this water service integration. This paper introduces the new information processing system.

Information-Integrated New Supervisory Control System for Water and Sewage Treatment

Kazuhiko Akamatsu Kazunobu Yashiro Akira Yoshida
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.358−363 (1998)

A Supervisory control system for water and sewerage systems is indispensable to the stable and safe operation of the lifeline which is a factor of the properly arranged living environment. Fuji Electric's FAINS−AX is a new supervisory control system which utilizes network, open system, downsizing and multimedia technologies and realizes integration with the information system based on its know-how in plant control and open system technology. This paper describes the configuration, functions and features of the system.

Engineering Techniques for the Water Service

Yusuke Yamaguchi Masakatsu Komine Mamoru Sato
Fuji Electric Journal Vol.71 No.6 p.370−375 (1998)

Engineering to provide techniques for a series of processes, including system structuring and plant construction, has a great influence on the whole system quality and cost, and so engineering work itself has attracted attention. Recently in utilities, there has been a strong demand for the opening of official information and its efficient, labor-saving execution is desired. This paper describes the application of CALS (commerce at light speed) technique to engineering to meet the above, and introduces the CALS promoted by the Ministry of Construction and Fuji Electric's tackling the internal CALS.

富士電機株式会社

本社事務所	☎(03)3211-7111	〒100-8410	東京都千代田区有楽町一丁目12番1号（新有楽町ビル）
〃　新宿別館	☎(03)3375-7111	〒151-8520	東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル）
北海道支社	☎(011)261-7231	〒060-0042	札幌市中央区大通西四丁目1番地（道銀ビル）
東北支社	☎(022)225-5351	〒980-0811	仙台市青葉区一番町一丁目2番25号（仙台NSビル）
北陸支社	☎(0764)41-1231	〒930-0004	富山市桜橋通3番1号（富山電気ビル）
中部支社	☎(052)204-0290	〒460-0003	名古屋市中区錦一丁目19番24号（名古屋第一ビル）
関西支社	☎(06) 455-3800	〒553-0002	大阪市福島区鷺洲一丁目11番19号（富士電機大阪ビル）
中国支社	☎(082)247-4231	〒730-0021	広島市中区胡町4番21号（朝日生命広島胡町ビル）
四国支社	☎(087)851-9101	〒760-0017	高松市番町一丁目6番8号（高松興銀ビル）
九州支社	☎(092)731-7111	〒810-0001	福岡市中央区天神二丁目12番1号（天神ビル）
北関東支店	☎(0485)26-2200	〒360-0037	熊谷市筑波一丁目195番地（能見ビル）
首都圏北部支店	☎(048)657-1231	〒330-0802	大宮市宮町一丁目38番1号（野村不動産大宮共同ビル）
首都圏東部支店	☎(043)223-0701	〒260-0015	千葉市中央区富士見二丁目15番11号（日本生命千葉富士見ビル）
神奈川支店	☎(045)325-5611	〒220-0004	横浜市西区北幸二丁目8番4号（横浜西口KNビル）
新潟支店	☎(025)284-5314	〒950-0965	新潟市新光町16番地4（荏原新潟ビル）
長野システム支店	☎(026)228-6731	〒380-0836	長野市南県町1002番地（陽光エースビル）
長野支店	☎(0263)36-6740	〒390-0811	松本市中央四丁目5番35号（長野鋳物会館）
岡山支店	☎(086)227-7500	〒700-0826	岡山市磨屋町3番10号（住友生命岡山ニューシティビル）
松山支店	☎(089)933-9100	〒790-0878	松山市勝山町一丁目19番地3（青木第一ビル）
北見営業所	☎(0157)22-5225	〒090-0831	北見市西富町163番地の30
釧路営業所	☎(0154)22-4295	〒085-0032	釧路市新栄町8番13号
道東営業所	☎(0155)24-2416	〒080-0803	帯広市東三条南十丁目15番地
青森営業所	☎(0177)77-7802	〒030-0861	青森市長島二丁目25番3号（ニッセイ青森センタービル）
盛岡営業所	☎(019)654-1741	〒020-0034	盛岡市盛岡駅前通16番21号（住友生命盛岡駅前ビル）
秋田営業所	☎(0188)24-3401	〒010-0962	秋田市八橋大畑一丁目5番16号
山形営業所	☎(0236)41-2371	〒990-0057	山形市宮町一丁目10番12号
福島営業所	☎(0249)32-0879	〒963-8004	郡山市中町1番22号（郡山大同生命ビル）
金沢営業所	☎(076)221-9228	〒920-0031	金沢市広岡一丁目１番18号（伊藤忠金沢ビル）
福井営業所	☎(0776)21-0605	〒910-0005	福井市大手二丁目7番15号（安田生命福井ビル）
山梨営業所	☎(0552)22-4421	〒400-0858	甲府市相生一丁目1番21号（清田ビル）
松本営業所	☎(0263)33-9141	〒390-0811	松本市中央四丁目5番35号（長野鋳物会館）
岐阜営業所	☎(058)251-7110	〒500-8868	岐阜市光明町三丁目1番地（太陽ビル）
静岡営業所	☎(054)251-9532	〒420-0011	静岡市安西二丁目21番地（静岡木材会館）
浜松営業所	☎(053)458-0380	〒430-0935	浜松市伝馬町312番地32（住友生命浜松伝馬町ビル）
豊田営業所	☎(0565)29-5771	〒471-0835	豊田市曙町三丁目25番地1
和歌山営業所	☎(0734)72-6445	〒640-8341	和歌山市黒田94番地24（鍋島ビル）
山陰営業所	☎(0852)21-9666	〒690-0874	松江市中原町13番地
山口営業所	☎(0836)21-3177	〒755-0043	宇部市相生町8番1号（宇部興産ビル）
徳島営業所	☎(0886)55-3533	〒770-0832	徳島市寺島本町東二丁目5番地1（元木ビル）
高知営業所	☎(0888)24-8122	〒780-0870	高知市本町四丁目1番16号（高知電気ビル別館）
小倉営業所	☎(093)521-8084	〒802-0014	北九州市小倉北区砂津二丁目１番40号（富士電機小倉ビル）
長崎営業所	☎(095)827-4657	〒850-0037	長崎市金屋町7番12号
熊本営業所	☎(096)387-7351	〒862-0954	熊本市神水一丁目24番１号（城見ビル）
南九州営業所	☎(099)224-8522	〒892-0846	鹿児島市加治屋町12番7号（日本生命鹿児島加治屋町ビル）
沖縄営業所	☎(098)862-8625	〒900-0005	那覇市天久1131番地11（ダイオキビル）
エネルギー製作所	☎(044)333-7111	〒210-0856	川崎市川崎区田辺新田1番1号
変電システム製作所	☎(0436)42-8111	〒290-8511	市原市八幡海岸通７番地
東京システム製作所	☎(042)583-6111	〒191-8502	日野市富士町1番地
神戸工場	☎(078)991-2111	〒651-2271	神戸市西区高塚台四丁目1番地の1
鈴鹿工場	☎(0593)83-8100	〒513-8633	鈴鹿市南玉垣町5520番地
松本工場	☎(0263)25-7111	〒390-0821	松本市筑摩四丁目18番1号
山梨工場	☎(0552)85-6111	〒400-0222	山梨県中巨摩郡白根町飯野221番地の1
吹上工場	☎(0485)48-1111	〒369-0122	埼玉県北足立郡吹上町南一丁目5番45号
大田原工場	☎(0287)22-7111	〒324-8510	大田原市中田原1043番地
三重工場	☎(0593)30-1511	〒510-8631	四日市市富士町1番27号
(株)富士電機総合研究所	☎(0468)56-1191	〒240-0194	横須賀市長坂二丁目2番1号
(株)エフ・エフ・シー	☎(03)5351-0200	〒151-0053	東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル）

昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成10年6月10日発行（毎月1回10日発行）富士時報　第71巻　第6号（通巻第759号）

FUJI ELECTRIC 富士電機

本誌はエコマーク認定の再生紙を使用しています。

定価525円（本体500円）